

Министерство науки и высшего образования РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет
имени С.М. Кирова»

Институт технологических машин и транспорта леса

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ИТОГАМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ 2020 года

10 апреля 2021 г.



Санкт-Петербург

2021

Рекомендовано к изданию
Научно-техническим советом
Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета
Редакционная коллегия:

Е.Г. Хитров, доктор технических наук, ответственный редактор
И.В. Бачериков, кандидат технических наук, редактор
В.А. Соколова, кандидат технических наук, доцент, редактор
Ю.И. Беленький, доктор технических наук, доцент, редактор
Б.Г. Мартынов, доктор технических наук, профессор, редактор
А.А. Куликов, кандидат технических наук, доцент, редактор
Л.Я. Громская, кандидат технических наук, доцент, редактор
А.В. Сергеевичев, доктор технических наук, доцент, редактор
В.А. Александров, доктор технических наук, профессор, редактор

УДК 630*3

ГРНТИ 66.01.00, 66.17.00, 66.19.00

OECD 04.01.KA FORESTRY

ББК 43.90

Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 [Электронный ресурс] / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 764 с. Режим доступа: свободный. URL: <http://spbftu.ru>

Proceedings of annual conference of the Institute of Technological machines and forest transportation 2020 / ed. E. Khitrov. St.Petersburg: SPbFTU, 2021. – 764 p.

В сборнике представлены материалы докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ 2020 года Института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета. Тематика конференции охватывает широкий круг вопросов лесопромышленного комплекса. Сборник предназначен для работников лесной и деревообрабатывающей промышленности, аспирантов, студентов и преподавателей ВУЗов.

Сборник рецензируемый.

The proceedings contain materials of annual conference of the Institute of Technological Machines and Forest Transport of the St. Petersburg State Forest Technical University. The conference covers a wide range of issues of the forest industry. The collection is intended for workers of the forest and woodworking industry, graduate students, students and professors of universities.

The proceedings are peer-reviewed.

© СПбГЛТУ, 2021

Содержание

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	10
<i>Антонова Т.С., Давидов А.В., Шахбанов В.Ю.</i> Разработка информационной системы лесопромышленного предприятия на базе геоинформационных систем	10
<i>Габова И.С., Антонова Т.С.</i> Состояние автомобильных дорог Республики Коми.....	14
<i>Галанина Л.С.</i> Логистические инновации как условие роста эффективности регулирования бизнес-процессами.....	19
<i>Бжзеленко П.В., Моисеева К.С., Тюрин Н.А.</i> Комплексная оценка транспортного освоения лесов Северо-Западного федерального округа	22
<i>Мотовилов Г.К., Тюрин Н.А.</i> Оптимизация территориального размещения целлюлозно-бумажного комбината по критерию грузовой работы доставки сырья	27
<i>Давидов А.В., Антонова Т.С.</i> Системы управления складской логистикой.....	32
<i>Швыдкий И.П., Тюрин Н.А.</i> Оценка влияния транспортной инфраструктуры на древесную продуктивность леса	37
<i>Теплов А.В., Сафонова Н.Ю., Крестинин В.И.</i> Психологические особенности взаимодействия студентов и преподавателей лесного вуза	42
<i>Шевнин И.Н., Трофимов А.В.</i> Использование программы ANSYS для топологической оптимизации массы элементов конструкции лесных машин	46
<i>Тюрин М.С., Трофимов А.В., Зверев И.А.</i> Использование параметризации при создании твердотельной геометрической модели на базе программы «КОМПАС-3D»	51
<i>Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Третьякова Е.Ю., Демиденко В.А.</i> Роль и задачи дилерских организаций в системе технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной техники	55
<i>Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Иванова И.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Чураков А.В., Давыденко С.В.</i> Основные принципы фирменного ремонта лесозаготовительной техники и оборудования отрасли.....	61
<i>Зубова О.В., Силецкий В.В., Воронин С.Е.</i> Перспективы использования щелочной активации шламогрунтов для повышения их прочностных характеристик	69
<i>Ермакова Е.К., Григорьев Г.В.</i> Контейнерные перевозки лесных грузов.....	73
<i>Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Поликарпов А.О.</i> Беспилотная техника для целей лесозаготовительного комплекса и мониторинга состояния водных объектов	77
<i>Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Поликарпов А.О.</i> Использование гражданских беспилотных плавающих аппаратов для организации транспортировки грузов и очистки водных поверхностей.....	82
<i>Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Эполетов Д.В.</i> Влияние температурных факторов на гидрологию северных рек	89
<i>Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Эполетов Д.В.</i> Ведение лесозаготовки в Арктическом регионе страны в условиях многолетней мерзлоты	95
2. ЛЕСОСЕЧНЫЕ РАБОТЫ.....	102
<i>Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Мурашкин А.А.</i> Концепция оценки проходимости трелевочных тракторов	102
<i>Ржавцев А.А., Беленький Ю.И., Калистратов А.В.</i> Новая концепция систем транспортировки древесного сырья.....	107
<i>Свойкин Ф.В., Жук К.Д., Угрюмов С.А., Бирман А.Р.</i> Особенности формирования отчетов систем контроля-измерения многооперационных лесных машин на колесном и гусеничном движителях	111
<i>Захаров В.А., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Козьмин С.Ф., Пушков Ю.Л., Андронов А.В., Мартынов Б.Г.</i> Планирование многофакторного эксперимента в исследованиях лесосечных машин	117

<i>Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Козьмин С.Ф., Андронов А.В., Пушков Ю.Л., Мартынов Б.Г., Захаров В.А.</i> Влияние приспособляемости дизеля на величину буксования гусеничных лесосечных машин	121
<i>Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Дурманов М.Я., Зверев И.А.</i> Влияние способа трелевки на вертикальную динамику колесного трактора	125
<i>Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А., Мартынов Б.Г., Тарадин Г.С., Дурманов М.Я., Тюрина М.С.</i> Методика определения статистических характеристик микропрофиля лесного волокна	131
<i>Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Дурманов М.Я., Зверев И.А.</i> Исследование вертикальной динамики малогабаритного колёсного трактора.....	137
<i>Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Андронов А.В., Козьмин С.Ф., Кривоногова А.С., Зверев И.А.</i> Результаты экспериментальных исследований колесного скиддера ТЛК-1	142
<i>Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Мартынов Б.Г., Андронов А.В., Тюрина М.С.</i> Минимизация расходов при выполнении транспортных работ.....	148
<i>Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чуракова А.В., Мубаракишина Т.М.</i> Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора.....	153
<i>Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Торощин П.С.</i> Создание математических моделей колесных лесопромышленных тракторов с учетом системного подхода	158
<i>Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Давыденко С.В.</i> Принципы системного подхода при обосновании параметров колесного лесопромышленного трактора	165
3. ТЕПЛОТЕХНИКА, ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	171
<i>Иванова И.В., Куликов А.А., Иванов М.М., Прохоров В.А.</i> Анализ методов термической переработки биомассы в газогенераторных установках.....	171
<i>Иванова И.В., Иванов М.М.</i> Выбор и расчет системы, обеспечивающей получение тепловой энергии при использовании биомассы	179
<i>Иванова И.В., Иванов М.М.</i> К вопросу о прямом сжигании биомассы для получения тепловой энергии	184
<i>Иванова И.В., Куликов А.А., Иванов М.М., Прохоров В.А.</i> Обоснование выбора котельного агрегата для прямого сжигания древесных отходов	191
<i>Иванова И.В., Спиридонов С.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Иванов М.М.</i> Принципиальная схема транспортной газогенераторной установки	197
<i>Иванова И.В., Куликов А.А., Прохоров В.А., Иванов М.М.</i> Топочные устройства для прямого сжигания древесных отходов	208
<i>Куликов А.А., Иванова И.В., Прохоров В.А., Иванов М.М.</i> Особенности выбора толщины цилиндрической теплоизоляции	216
<i>Зотов А.Д., Иванова И.В.</i> Анализ аварийных ситуаций на теплоэлектростанциях.....	222
<i>Павловцев А.В., Иванова И.В.</i> Геотермальная энергия как один из перспективных альтернативных источников энергии.....	229
<i>Перевалов Д.Д., Иванова И.В.</i> Биогаз как альтернативный источник энергии.....	235
<i>Снежков В.А., Иванова И.В.</i> Общие вопросы водородной энергетики	240
<i>Бирман А.Р., Угрюмов С.А., Белоногова Н.А.</i> Усовершенствованный топливный брикет.....	250
<i>Сергеевичев А.В., Алексеева Е.А., Машутин А.С.</i> К вопросу определения центров электрических нагрузок в цехах деревообрабатывающих предприятий.....	255
<i>Федяев А.А., Федяева В.Н.</i> Контроль температурного режима охлаждающего теплоносителя в элементах теплотехнологического оборудования.....	258
<i>Федяев А.А., Федяева В.Н.</i> Повышение вибрационной надежности теплообменников	263
<i>Федяев А.А., Федяев Ар.А., Федяева В.Н., Машутин А.С.</i> Тепловые потери от рабочих поверхностей при тепловизионном обследовании.....	268
<i>Федяев А.А., Федяева В.Н.</i> Методика тепловизионных измерений характеристик теплотехнологического оборудования.....	272

<i>Федяев А.А.</i> Математическое моделирование неравномерного тепломассообмена	276
4. МАШИНОСТРОЕНИЕ	281
<i>Власов Е.Н., Андронов А.В.</i> Матричный метод решения задачи кинематики манипулятора лесной машины.....	281
<i>Власов Е.Н., Вохмянин Н.А.</i> Определение режимов работы стрелы и рукояти манипулятора лесной машины, при которых ускорение захватного устройства будет максимальным	285
<i>Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.</i> Анализ эффективности МТА с различными коробками перемен передач	288
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Сравнение энергозатрат МТА в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам	292
<i>Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.</i> О работе 5-ти и 6-ти ступенчатых коробок перемены передач с постоянным передаточным рядом в сравнении с работой штатной коробки перемены передач в транспортном режиме машинно-тракторного агрегата.....	294
<i>Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.</i> Анализ эффективности использования касательная силы тяги машинно-тракторного агрегата с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения силы тяги по передачам.....	299
<i>Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.</i> Различия в использовании касательной силы тяги машинно-тракторным агрегатом при комплектовании 5-ти ступенчатой штатной КПП и 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом.....	303
<i>Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.</i> Различия в использовании касательной силы тяги машинно-тракторным агрегатом при комплектовании 5-ти ступенчатой штатной КПП и 6-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения касательной силы по передачам	306
<i>Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.</i> Различия в использовании касательной силы тяги машинно-тракторным агрегатом при комплектовании 5-ти ступенчатой штатной КПП и 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом.....	310
<i>Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.</i> Обзор основных методов проектирования технических систем в лесном машиностроении	314
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> К вопросу анализа мощности привода и энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с 5-ти ступенчатой штатной КПП для рядовых условий пахоты.....	318
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Сравнение энергозатрат МТА в пахотном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам.....	321
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Сравнение энергозатрат МТА в пахотном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам.....	324
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Сравнение энергозатрат МТА в пахотном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и с постоянным передаточным рядом.....	328
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Сравнение энергозатрат МТА в пахотном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом	331
<i>Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.</i> К вопросу анализа мощности привода и энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с 5-ти ступенчатой штатной КПП в транспортном режиме.....	334
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Сравнение энергозатрат МТА в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам	337
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Сравнение энергозатрат МТА в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом	340
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Сравнение энергозатрат МТА в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом	342
<i>Власов Е.Н., Сергеевичев А.В., Епифанова А.Ю.</i> К вопросу о показателях эффективности использования машинно-тракторных агрегатов	345
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю., Сергеевичев А.В.</i> Показатели машинно-тракторного агрегата на базе трактора ЛХТ-100 с 5-ти ступенчатой коробкой передач в штатной комплектации	349

<i>Власов Е.Н., Сергеевичев А.В., Епифанова А.Ю.</i> К вопросу о методике экспериментального определения частотных характеристик тракторного двигателя	352
<i>Власов Е.Н.</i> Сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с штатной КПП и с 5-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения касательной силы тяги	355
<i>Власов Е.Н.</i> Сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с штатной КПП и с 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом	358
<i>Власов Е.Н.</i> Сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с штатной КПП и с 6-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения касательной силы тяги	360
<i>Власов Е.Н.</i> Сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с штатной КПП и с 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом	363
<i>Дурманов М.Я., Козьмин С.Ф., Мартынов Б.Г., Спиридонов С.В.</i> Методы расчета нагруженности и энергозатрат лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата при различных характерах входного возмущения	365
<i>Дурманов М.Я., Козьмин С.Ф., Мартынов Б.Г., Спиридонов С.В.</i> Повышение эффективно используемой касательной силы тяги лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата при транспортном режиме функционирования	370
<i>Дурманов М.Я., Мартынов Б.Г., Михайлов О.А., Спиридонов С.В., Тарадин Г.С.</i> Изменение касательной силы тяги машинно-тракторного агрегата при транспортном режиме функционирования и стохастическом входном возмущении	375
<i>Дурманов М.Я., Мартынов Б.Г., Михайлов О.А., Спиридонов С.В., Тарадин Г.С.</i> Характер изменения динамической составляющей касательной силы тяги лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата при пахотном режиме функционирования	381
<i>Дурманов М.Я., Мартынов Б.Г., Михайлов О.А., Спиридонов С.В., Тарадин Г.С.</i> Оценка динамической нагруженности элементов трансмиссии лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата	387
<i>Кизилов А.Б., Буслаев В.В., Зайцев В.В.</i> Привод на технических мышцах для машин и оборудования лесного комплекса	392
<i>Буланов С.М., Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Пушков Ю.Л.</i> Методика определения характеристик рабочего органа газонокосилки	397
<i>Кретинин В.И., Теплов А.В., Соколова В.С., Ефанов В.А.</i> Повышение качества поверхностей при газопламенном напылении	402
<i>Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Пушков Ю.Л., Андронов А.В., Тюрина М.С.</i> Методика определение параметров подрессоривания сиденья оператора лесопосадочной машины	408
<i>Александров В.А., Александров А.В., Буслаев В.В., Зайцев В.В.</i> Вибронагруженность оператора валочно-трелевочной машины в процессе подъема срезанного дерева, уложенного на рукоять, стрелой	414
5. ДЕРЕВООБРАБОТКА И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ	420
<i>Соколова В.А., Иванов А.М., Войнаш С.А.</i> Исследование причин дефектов лакокрасочного покрытия: недостаточный блеск покрытия, риски, трещины	420
<i>Соколова В.А., Иванов А.М., Барина П.А.</i> Анализ дефектов «белесые пятна», «серебристые поры», «разводы», «отслаивание» лакокрасочных покрытий	422
<i>Соколова В.А., Иванов А.М., Овчинников А.С.</i> Анализ дефектов лакокрасочных покрытий: шагрень, пузырьки и проколы	425
<i>Соколова В.А., Иванов А.М.</i> Исследование причин дефектов отверждения лакокрасочных покрытий	428
<i>Кистина М.В., Марков В.А.</i> Анализ разнотолщинности на предприятии «Невский Ламинат»	430
<i>Сергеевичев А.В.</i> Основные аспекты технической диагностики дереворежущих станков	434
<i>Хрусталева И.В., Сергеевичев В.В.</i> Динамика процесса прокатки сортиментов в брус	437

<i>Соколова В.А., Авагян Д.М.</i> Разработка программы для определения рациональной емкости склада для лесопильных предприятий.....	441
<i>Ладиков И.С., Соколова В.А.</i> Обоснование оптимального варианта технологического процесса изготовления продукции методом экспертных оценок и расстановки приоритетов.....	447
<i>Попова Д.А., Марков В.А., Соколова В.А., Алексеева Е.А.</i> Автоматизация системы удаления пыли и стружки на производственном участке	453
<i>Уткин Л.В., Соколова В.А., Иванов А.М.</i> Применение алгоритмов причинно-следственных связей дефектов в технологии отделки древесины	459
<i>Ильюшенко Д.А., Локитанов Б.М., Маишутин А.С., Орлов В.В.</i> Современные системы подготовки древесного сырья для производства целлюлозы и древесной массы.....	464
<i>Соколова В.А., Иванов А.М., Алексеева Е.А.</i> Применение метода экспертных оценок для повышения качества отделки древесины защитно-декоративными покрытиями	472
<i>Соколова В.А., Иванов А.М.</i> Анализ дефекта «пониженная адгезия лака к подложке» лакокрасочных покрытий	476
<i>Сергеевичев А.В., Михайлова А.Е., Сергеевичев В.В., Маишутин А.С., Раупова Д.Э.</i> К вопросу использования древесины осины.....	478
<i>Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О., Маишутин А.С., Сергеевичев В.В., Раупова Д.Э.</i> Перспективы развития деревянного домостроения.....	482
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Кушнерев В.О., Маишутин А.С.</i> Динамические усилия механизма резания роторного оцилиндровочного станка.....	486
<i>Сергеевичев А.В. Сергеевичев В.В., Маишутин А.С., Михайлова А.Е.</i> Анализ износа шлифовального инструмента при обработке древесины.....	491
<i>Сергеевичев А.В. Сергеевичев В.В., Маишутин А.С.</i> Исследование воднодисперсионных лакокрасочных материалов для прозрачной отделки древесины	495
<i>Сергеевичев А.В. Онегин В.И., Маишутин А.С.</i> Анализ кинетики смачивания при формировании лакокрасочных покрытий методом налива.....	498
<i>Сергеевичев В.В., Сергеевичев А.В., Хрусталева И.В., Маишутин А.С.</i> К вопросу оптимизации свойств комбинированной фанеры.....	504
<i>Сергеевичев В.В., Сергеевичев А.В., Овчарова Е.О., Маишутин А.С.</i> Анализ влияния формы абразивного зерна на эффективность процесса шлифования древесины	508
<i>Михайлова А.Е., Сергеевичев В.В., Сергеевичев А.В., Маишутин А.С.</i> Анализ деформации древесных материалов в прессах непрерывного действия.....	512
<i>Сергеевичев А.В.</i> Анализ влияния режимных факторов на шероховатость шлифованной поверхности древесины	515
<i>Сергеевичев А.В.</i> Анализ закономерностей износа вершин формообразующих элементов шлифовального инструмента для обработки древесины.....	519
<i>Бызов В.Е., Сергеевичев А.В.</i> Основные положения по разработке стандартов на продукцию лесопиления	522
<i>Сергеевичев А.В., Бызов В.Е.</i> К вопросу совершенствование подготовки резцов оцилиндровочных станков.....	527
<i>Сергеевичев А.В., Михайлова А.Е., Сергеевичев В.В.</i> Современные направления модернизации деревообрабатывающего оборудования.....	532
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.</i> Повышения износостойкости подшипниковых узлов скольжения.....	536
<i>Сергеевичев А.В.</i> Исследование виброустойчивости деревообрабатывающего оборудования.....	539
<i>Сергеевичев А.В.</i> Моделирование механизма резания роторного станка для оцилиндровки бревен	546
<i>Сергеевичев А.В.</i> К вопросу получения радиальных пиломатериалов с учетом особенностей строения древесного ствола	550
<i>Сергеевичев А.В.</i> Точение как метод оцилиндровки бревен	553

<i>Мокин А.Д., Марков В.А.</i> Классификация сушилок.....	555
<i>Федяев А.А., Федяев Ар.А., Федяева Н.Ю., Машутин А.С.</i> Оценка энергоэффективности элементов ограждающих конструкций деревянного домостроения.....	559
<i>Федяев А.А., Федяева В.Н.</i> Влияние неравномерности динамических параметров на период термообработки пористых структур.....	564
<i>Федяев А.А.</i> Контроль продолжительности сушки пиломатериалов изменением динамических характеристик.....	568
<i>Федяев А.А.</i> Программное обеспечение для расчетных исследований продолжительности термообработки пористого сортамента в теплотехнологической установке.....	571
<i>Федяев А.А., Федяева В.Н.</i> Математическое моделирование эффективности работы термовлажностной установки.....	574
<i>Федяев А.А.</i> Экспериментальные исследования аэродинамических характеристик рабочей камеры сушилки.....	578
6. ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ	583
<i>Шифрин Б.М., Елисеев И.В., Шалабот А.И., Пендриков Е.С.</i> Разработка модели управления кондиционером на основе нечеткой логики.....	583
<i>Иванов Н.М., Алексеева Е.А., Иванова И.В.</i> Разработка модели и установки для измерения обратного базо-эмиттерного тока.....	587
<i>Иванов Н.М., Алексеева Е.А., Иванова И.В.</i> Технические решения при создании лазерного станка с числовым программным управлением.....	591
<i>Иванов Н.М., Алексеева Е.А., Иванова И.В.</i> Анализ работы и область применения ультразвукового радара в водном и лесном хозяйстве.....	600
<i>Михайлов О.А., Андронов А.В., Тарадин Г.С., Козьмин С.Ф., Кривоногова А.С., Зверев И.А.</i> Математическая модель прогнозирования использования передаточного числа трансмиссии колесного скиддера.....	609
<i>Прохоров В.А., Куликов А.А., Иванова И.В.</i> Обоснование конструкции опытного образца водяного пластинчатого теплообменника.....	616
<i>Прохоров В.А., Куликов А.А., Иванова И.В.</i> Оценка влияния химико-технологической промывки теплопередающих поверхностей на эффективность работы пластинчатых теплообменников ЦТП.....	626
<i>Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.</i> Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития.....	633
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С.</i> Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины.....	639
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.; Чураков А.В., Охалкин Т.А.</i> Особенности процесса наплавки металлоизделий в пропан-бутане и его влияние на технологическую производительность.....	646
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Рачков И.Д.</i> Основные направления синтеза оптимальных трелевочных систем.....	651
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Парфенопуло Г.К.</i> Выбор оптимальной формы емкостей для хранения горюче-смазочных материалов.....	657
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В.</i> Основные показатели технического уровня лесных тракторов.....	662
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Ардентиева А.Д.</i> Анализ взаимодействия лесомелиоративной машины с предметом труда.....	667
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Парфенопуло Г.К., Лазуткина А.А.</i> Особенности производственно-техническая инфраструктуры предприятий технического сервиса в лесного комплекса.....	672
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Тороцин П.С.</i> Стендовые испытания тормозной системы автомобиля с пневматическим приводом.....	678

<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Вишнев Д.В.</i> Перспективные направления развития методов диагностирования систем и механизмов двигателей внутреннего сгорания	684
<i>Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Романов С.В.</i> Применение двигателей постоянной мощности на трелевочных тракторах и их влияние на тяговые показатели	691
<i>Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Гаипов Д.А.</i> Влияние показателей проходимости на выбор оценочных показателей.....	700
<i>Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Давыденко С.В.</i> Обоснование диагностических параметров тормозной системы автомобиля.....	706
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А.</i> Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов.....	712
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Иванов А.М.</i> Анализ эффективного использования лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: ретроспектива применения	719
<i>Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Ларионова К.Д.</i> Влияние гидростатического давления пропиточной жидкости на улучшение физико-механических характеристик строительных лесоматериалов.....	728
<i>Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Жаренков Е.И.</i> К вопросу об анализе предпосылок теоретического обоснования закономерностей изменения качественных характеристик уплотненной древесины.....	735
<i>Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Цветков Н.С.</i> К анализу предпосылок теоретического обоснования взаимосвязи изменения качественных показателей и степени уплотнения древесины.....	740
<i>Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Орлов П.Б.</i> Вопросы систематизации теоретического обоснования взаимосвязи изменения качественных показателей коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины.....	745
<i>Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Раевский А.Ю.</i> К вопросу об экономической целесообразности использования модифицированной древесины уплотнением в производстве в современных социально-экономической ситуации	751
<i>Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Ломакина Я.Р.</i> К вопросу о термохимической переработки в технологии древесноугольного производства	756

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Разработка информационной системы лесопромышленного предприятия на базе геоинформационных систем

Антонова Т.С., Давидов А.В., Шахбанов В.Ю.

Введение.

Одной из общих задач логистики лесопромышленного предприятия является разработка интеграционной системы учета материальных, информационных, финансовых и других потоков.

Рассматривая движение продукции от начала цепи поставок до потребителя, требуется учитывать информацию на всех этапах цепи поставок. Движение информационного потока происходит, как от поставщика до потребителя, так и в обратном направлении.

При движении материального потока лесопромышленного предприятия учитывается:

- Информация об аренде лесного фонда;
- Закупки предприятия;
- Продукция поступающая и отгружаемая на складах: (верхний, нижний, готовой продукции, сезонный и т.д.);
- Учет продукции в производстве;
- Транспортировка (сырье, полуфабрикаты, готовые изделия)
- Распределение готовой продукции;

Так же при требуется фиксировать финансовые потоки предприятия. Большое количество информации требуется учитывать при движении потоков цепи поставок, решением этой задачи является создание интегрированной эффективной системы регулирования и контроля материальных, информационных и финансовых потоков. Разработка такой системы позволит учитывать большое количество информации на разных уровнях, формировать необходимые отчеты и упростит анализ большого количества данных.

Информационная система лесопромышленного предприятия должна учитывать рис.1:

- Управление лесными ресурсами (аренда лесного фонда, информация по лесному фонду, подбор выделов под заготовку, формирование информации по лесосечному фонду, фактические данные по заготовке леса, создание отчетов и т.д.);
- Управление закупками (закупка сырья у поставщиков, готовой продукции, полуфабрикатов, и оборудование, гсм, запчасти, комплектующие, упаковка и т.д.);
- Управление производством (технологические операции в подразделениях предприятия);

- Управление складами (верхний склад, нижний склад, сезонный склад и т.д.);
- Управление транспортом (транспортный цех предприятия, работа с перевозчиками, аренда и поставка жд вагонов);
- Управление финансами;
- Управление кадрами;
- Управление реализации готовой продукции;

В настоящее время, существующие информационные системы не всегда адаптируются и используются на лесопромышленном или лесозаготовительном предприятии. Это связано: с большим количеством информации, которую необходимо учитывать, с разным программным обеспечением в структурных подразделениях (лесной отдел, транспорт, склад, кадры, бухгалтерия) так как нет единой системы, которая позволила бы учитывать всю информацию, экспортироваться между подразделениями. Есть разработки отечественных и зарубежных производителей, но они не всегда подходят предприятию или финансово недоступны.

Выход из этой ситуации – разработка собственной информационной системы предприятия под требования заказчика. Заказная информационная система – дорогое решение, но при правильном подходе разработка и использование информационной системы позволит предприятию получить много преимуществ. При решении этой проблемы необходимо:

- Разделение разрабатываемых информационных систем на два уровня: для крупных компаний и для небольших компаний.
- Выбор подсистем, входящих в информационную систему: одному предприятию нужно управление транспортом TMS, другому нет, так как эту услуга отдана на аутсорсинг перевозчику.
- Возможность доработки программы под запросы клиента (послепродажное обслуживание). В течении определенного времени, после внедрении информационной системы будут возникать задачи, которые необходимо исправить или доработать, поэтому лучше заранее предусмотреть данную возможность.
- Возможности экспорта или импорта информации из других информационных систем.
- Разрабатываемая логистическая информационная система лесопромышленного предприятия должна создаваться на базе ГИС.

Геоинформационные системы – это автоматизированные системы, функциями которых являются сбор, хранение, интеграция, анализ и графическая интерпретация пространственно-временных данных, а также связанной с ними атрибутивной информации о представленных в ГИС объектах [1]. Так как в лесопромышленном комплексе операции транспортировки довольно значимы и сильно влияют на логистические издержки, то оптимизация транспортных потоков важна и необходима. Оптимизировать

транспортные потоки лучше всего при использовании геоинформационных систем.

При использовании ГИС в информационной системе лесопромышленного предприятия возможны следующие операции:

1. Хранение информации по лесному фонду;
2. Анализ транспортной инфраструктуры для планирования и организации работы предприятия.
3. Возможности проектирования на основе анализа большого количества информации (проектирование дорог, подбор лесосек на 10 лет, 5 лет, на 1 год) [2];
4. Построение маршрутов для перевозки лесоматериалов (учитывая особенности по тоннажу, по габаритам, планирование маршрутов с учетом местоположения поставщиков и потребителей и доступности транспортных средств);
5. Мониторинг транспортных средств (перевозящих сырье, готовую продукцию);
6. Пространственный анализ (когда на базе информации разного уровня за счет анализа получается новая информация). Можно использовать пространственный анализ на этапе проектирования лесных дорог, водопропускных сооружений, отвода лесосек, определения местоположения склада, зоны обслуживания объекта;
7. Моделирование логистических и транспортных процессов (оптимизация транспортных потоков, оценки использования дороги, ее загруженности и т.д.)

Выбор ГИС зависит от требований и предпочтений заказчика. Необходимо определиться с задачами, которые должна будет решать ваша информационная система, и на основе выбирать ГИС. Возможно использовать бесплатную ГИС, а модули необходимые для работы в написать под заказ. Этот вопрос целесообразно решить с разработчиком логистической информационной системы.

Разработка информационной системы лесопромышленного предприятия- важная и трудная задача. Руководству предприятия необходимо: определиться с задачами и целями разрабатываемой информационной системы, выбрать разработчика, найти финансирование, внедрить систему на предприятии, организовать обучение сотрудников и решить ряд других вопросов. Создание и применение информационной системы предприятия может быть, как экономический целесообразным решением, так и наоборот крайне невыгодным, поэтому грамотный подход, знание логистических процессов, использование современных информационных компьютерных технологий, позволит

разработать такую информационную систему, которая не усложнит, а улучшит работу предприятия.

Библиографический список

1. Ковин Р.В. Геоинформационные системы: учебное пособие / Р.В. Ковин, Н.Г. Марков, -Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2008. – 175с.
2. Антонова Т.С. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Выпуск 198, 2012.С.79-86.

Сведения об авторах

ФИО Антонова Татьяна Степановна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4581-5931
e-mail antonova.stl@mail.ru

ФИО Давидов Андрей Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail andrevv97@gmail.com

ФИО Шахбанов Вадим Юсифович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail halk512@list.ru

Аннотация

В данной статье описаны ключевые моменты разработки информационной системы лесопромышленного предприятия с учетом особенностей транспортно-логистических процессов.

Ключевые слова: информационная система, ГИС, лесопромышленное предприятие, транспортировка лесопродукции.

УДК 681.518.

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.01

Состояние автомобильных дорог Республики Коми

Габова И.С., Антонова Т.С.

Введение.

Ежегодно в республике Коми заготавливают древесину в объеме 9 млн.м³ в год. Объемы перевозки лесопродукции постоянно увеличиваются и зависят от многих показателей, например, от погодных условий прошедшего года, от точности переданных данных компаний, которые занимаются перевозками леса, наличия новых контрактов и т.д.

Транспортная инфраструктура в Республике Коми представлена автомобильным, железнодорожным, речным и авиационным транспортом. Самый популярный способ перевозки леса в Коми – автомобильный, далее идут железнодорожный и речной транспорт [1]. При транспортировке древесины автотранспортом большие потери несут дороги, лесные и дороги общего пользования, от постоянных перевозок габаритных грузов. Несмотря на ограничения по весу, лесовозы ездят загруженные «под завязку», что негативно сказывается на состоянии дорог рис. 1.

Особенности климата в республике таковы, что очень холодные зимы, жаркое лето, так же снижает качество покрытий дорог. Основными проблемами при эксплуатации автомобильных дорог являются: гололедица, пробки на дорогах, несовершенное обеспечение безопасности дорожного движения, недостаток получения своевременно информации о погодных условиях.

Состояние автомобильных дорог – актуальная проблема на сегодняшний день, так как лесные ресурсы перевозят по дорогам общего пользования, от постоянно «сломанных» дорог страдает не только легковой и общественный транспорт, но и сами лесовозы, потому как ремонт после подобной эксплуатации одного автомобиля стоит огромных денег, а учитывая, что масштабы автопарка огромны – это может привести в кризису в Республике.

Для того чтобы увеличить срок эксплуатации дорог, которые имеют не только промышленное назначение, но и общественно используемыми, необходимо не превышать разрешённый тоннаж на одну единицу транспортного средства, следовать установленным правилам, проходить все контрольные точки с весовыми измерениями, а также грамотно и правильно эксплуатировать сами транспортные средства.

В данной статье будут рассмотрены и предложены возможные способы решения данной проблемы, возможные пути совершенствования системы перевозок, а также сделаны выводы о состоянии лесной промышленности в Республике Коми на основании проведенного исследования.

Содержание статьи.

Принято считать, что дорога – это асфальтное покрытие, однако, уже давно, что в России, что в Европе, что в мире в целом используют искусственный асфальт или асфальтобетонную смесь, как считают производители это помогает сократить затраты, но в то же время увеличить площадь покрытия такой альтернативой асфальту.



Рис. 1. Лесная дорога

Искусственный асфальт– это строительный материал в виде уплотненной смеси щебня, минерального порошка, песка и битума. Также различают горячий, содержащий вязкий битум, укладываемый и уплотняемый при очень высоких температурах (обычно это не менее 120 градусов по Цельсию), тёплый асфальт – с мало-вязким битумом и температурой его уплотнения от 40 до 80 градусов, и холодный – с жидким битумом, уплотняемый при низкой температуре окружающего воздуха (около -30 градусов).

Целостной асфальтированной дороги не существует в современном мире, всегда присутствует какая-то добавка, с помощью которой пытаются улучшить качество, продлить срок эксплуатации и уменьшить затраты на ремонт. Слой асфальта наиболее подходящий материал для дорожного покрытия, хотя лесозаготовительные предприятия используют бетонные плиты и более дешевые варианты для вывоза лесных ресурсов от лесосеки до ближайшей асфальтобетонной дороги.

Покрытие из асфальтобетона легко ремонтируется, моется и убирается, обладает необходимой шероховатостью и на нём хорошо держится любая разметка. Но не стоит забывать и о явных минусах. Такое дорожное покрытие очень легко ремонтируется, но никто и нигде не говорит о том, как часто

приходится этими ремонтными работами заниматься. Стабильно, раз в сезон дороги в Республике в ужасном состоянии. Бывает даже, что легковым автомобилям не доехать до нужного населенного пункта, и даже лесовозам приходится заметно сбавлять скорость, чтобы не повредить покрышки колёс и перевозимый груз. Аварии в таких условиях – привычное дело. А на дорогах, где всего две полосы и обочина если и есть, то она в ужасном состоянии – это проблема огромного масштаба. Пробки, задержка поставок, уменьшение количества этих поставок, постоянная необходимость в ремонте транспортных средств. Важно отметить, что ремонтные работы самих дорог проводятся постоянно. Правительство региона следит за тем, чтобы дороги поддерживались в рабочем состоянии, иначе это может привести к остановке всех производственных процессов на самых крупных предприятиях республики.

Для сравнения состояния дороги с другими регионами обратимся к статистике по трассам Российской Федерации. Как видно из рис. 2, процент хорошего состояния дорог крайне мал, а процент плохих дорог где-то превышает 40%, что очень много. И если федеральные дороги находятся в удовлетворительном состоянии, то в регионах необходимо сокращать показатель «плохих» дорог.

Для того, чтобы ознакомиться с состоянием дорог в регионе, рекомендуется использовать материалы сайта <https://autostrada.info/ru> [3], посвященный актуальному состоянию дорог. Этот проект отражает ситуацию с критическим состоянием дорог, а также может предупредить водителей, которые планирует поездку в незнакомое место. Так же на сайте представлены отзывы пользователей и водителей, что можно использовать для улучшения состояния дорог.

«Дорожная инспекция ОНФ/Карта убитых дорог» [4] – это относительно новый проект Общероссийского народного фронта, который направлен на учет мнения граждан в сфере ремонта дорог. Основная задача создателей сайта – это обратить внимание чиновников и правительства на улицы, которые прежде всего значимы для жителей, а уже потом для них самих и промышленного производства. На карте отмечаются дороги города Сыктывкара, Республики Коми, находящиеся в плохом состоянии рис. 3. Отмечая дорогу на карте и формируя ее рейтинг посредством голосования за нее на сайте, люди могут повлиять на включение дороги в планы ремонта.

СТАТИСТИКА ПО ТРАССАМ



Рис. 2. Статистика по трассам в РФ

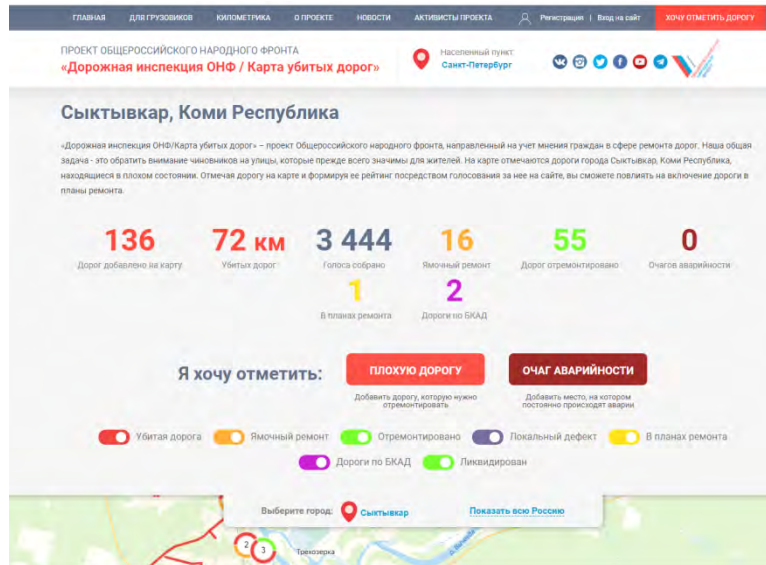


Рис. 3. Дорожная инспекция ОНФ/Карта убитых дорог

Ниже на рисунке 4 представлены данные по всем регионам [4]. Нужно отметить, что Республика Коми имеет среднее значение по доле региональных дорог, соответствующих нормативам, но необходимы большие инвестиции, чтобы все дороги соответствовали нормативным требованиям.



Рис. 4. Данные Росстата: слева – регионы с наиболее низкой долей региональных дорог, соответствующих нормативным требованиям %; справа – регионы с наиболее низкой долей местных дорог, соответствующих нормативным требованиям %

Заключение

Ежегодно огромное количество людей пытается повлиять на улучшение состояния дорог, создаются и подписываются петиции, вопросы ремонта рассматриваются на собраниях различного уровня и доходят до чиновников и министров Российской Федерации. Выше был описан один из способов борьбы с неблагоприятным состоянием дорог – составление статистики, составление различных актов и письменное подтверждение всех участков дорог, которые нуждаются в ремонте. Только общими усилиями можно ускорить процесс ремонта дорог. Возможны случаи, когда правительство не знает о состоянии того или иного участка дороги, так как попросту не видит его и не получает никакой информации о нём, поэтому информирование руководства, доведение информации чиновникам в письменном виде поможет решить проблему.

Состояние дорог, как в Республике Коми, так и в Российской Федерации в целом оставляет желать лучшего. Большое внимание при ремонте и строительстве дорог уделяется федеральным трассам регионам, тогда как удаленные регионы, возможно даже больше нуждаются в дорожных инвестициях. Выходом из этой проблемы является равномерность внимания ко всем регионам Российской Федерации, повышение финансирования строительства дорог, постоянный мониторинг состояния дорог. Хорошие дороги увеличат конкурентоспособность региона, увеличат финансовую привлекательность для инвестиций, сократят время доставки грузов и пассажиров.

Библиографический список

1. Природа и история Республики Коми: официальный сайт. – URL: <http://www.tomovl.ru/gryzoperevozki.html> (дата обращения 11.01.2021). – текст: электронный.
2. Учебно-методические материалы для студентов: официальный сайт – URL: <http://www.4stud.info> (дата обращения: 11.01.2021). – Текст: электронный.
3. Актуальное состояние дорог: официальный сайт. – URL: <https://autostrada.info/ru> (дата обращения: 11.01.2021). – Текст: электронный.
4. Проект общероссийского народного фронта «Дорожная инспекция ОНФ»: официальный сайт. – URL: <https://dorogi-onf.ru/city/2538/> (дата обращения: 11.01.2021). – Текст: электронный.
5. Управление автомобильных дорог Республики Коми: официальный сайт. – URL: <https://dor.rkomi.ru> (дата обращения: 12.01.2021). – Текст: электронный.
6. Информация о видах транспорта в Коми: официальный сайт. – URL: <http://www.tomovl.ru/gryzoperevozki.html> (дата обращения: 12.01.2021). – Текст: электронный.

Сведения об авторах

ФИО Габова И.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail igab227@gmail.com

ФИО Антонова Т.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4581-5931
e-mail andrevv97@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена исследованию состояния дорог на 2020 год. Объектом исследования являлись дороги в республике Коми, предназначенные для общего транспорта, а также для промышленного транспорта с целью перевозки лесных ресурсов. Результаты исследования показали, что часть дорог в Коми находятся в непригодном состоянии для регулярного их использования, были рассмотрены возможные пути решения данной проблемы. Также было произведено сравнение состояния дорог с другими регионами Российской Федерации.

Ключевые слова: дороги, вывозка древесины, перевозка леса, лесные ресурсы.

УДК 630*3

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.01

Логистические инновации как условие роста эффективности регулирования бизнес-процессами

Галанина Л.С.

Введение.

Благодаря факторам глобализации международного рынка увеличивается весомость логистических систем, которые становятся главным стратегическим механизмом в борьбе с конкуренцией как для самостоятельных предприятий, так и для государства. Одним из главных условий конкурентоспособности организаций является возможность методов регулирования реализовывать оперативные и результативные инновационные решения.

Содержание статьи.

С инновационной деятельностью неделимо связаны инвестиционные проекты. Вследствие того, что повышается уровень неоднозначного положения и вероятность возможного риска инновационной деятельности, возрастают требования к доказательству рентабельности вклада в инновации. В связи с этим рациональным решением будет являться увеличение научной базы инновационно-инвестиционных процессов, этого можно добиться с помощью использования принципов и методов инновационной логистики, отличающаяся от базовых логистических систем.

Базовая логистика – это дисциплина и вид деятельности по формированию и регулированию поставок товара, который предназначен для использования производителями и личными нужд. Таким образом, базовая логистика представляет собой постоянное условие любого коллективного производства и не обусловлен продуктивностью, так как зависит от экономической среды.

Всевозможные этапы по обеспечению поставок (организация, перемещение, целостность цепи поставок) служат источником существования независимых функциональных типов логистики: складской, транспортной, информационной, комплексной, таможенной, сбытовой, закупочной. Следовательно, главной целью базовой логистики является реализация повседневных процессов по формированию и регулированию непрерывной деятельности разной степени рентабельности.

Инновационная логистика – это научный механизм по улучшению непрерывных процессов с использованием развивающихся инноваций, а также стратегическое регулирование субъектов хозяйствования для повышения уровня качества оказания услуг клиентам, уменьшение расходов для осуществления непрерывных процессов, увеличение их производительности. Инновационная логистика даёт возможность целесообразно осуществлять какие-либо процессы, проводить анализ и давать оценку эффективности регулирования этих процессов, устанавливать и применять ресурсы и тем самым содействовать увеличению производительности в данной деятельности.

Объектом изучения инновационной логистики являются непрерывные процессы, представляющие собой показатель мер управленческих тенденций. Предметом – приёмы и способы регулирования непрерывными процессами и их развитие с применением логистических инноваций. Бесспорным является факт близкого контакта инновационной и базовой логистики. Также можно подчеркнуть своеобразные для неё задачи:

- реализация и введение новых разработок в сферу регулирования непрерывных процессов;
- исследование и применение общих навыков инновационной деятельности в сфере логистики в зависимости от возможностей различных сфер деятельности, отраслей и регионов;

- организация системных логистических новообразований;
- анализ производительности инновационных логистических операций и плана.

Ключевым элементом инновационной логистики служит стратегическая логистика – наука и метод увеличения логистических возможностей разных структур регулирования непрерывными процессами с помощью реализации долговременных проектов инновационных реконструкций.

Значение инновационной логистики растёт вследствие того, что в последние годы происходит логистизация бизнес-процессов. Логистизация в общепринятом понимании – это глобальная структура логистических систем и цепей, основываясь на теории логистики. Основной принцип работы данного тезиса заключается в создании хозяйственных операций организации и её регулирование.

Главной тенденцией логистизации бизнес-процессов предприятий является принятие целесообразного решения, так как задача поиска рациональных решений постоянно существовала в их практике. Положение усугубляется в связи с нарастающей неизвестностью и изменчивостью окружающих условий и уменьшением времени для адаптации организации к меняющейся ситуации. Вследствие этого инновационная логистика можно назвать научным средством, который позволяет компаниям создать проект логистизации, учитывая ресурсы и уровень развития.

Заключение.

Усовершенствование инновационной стратегической логистики для субъектов управления является главным мотиватором увеличения логистических возможностей, которые позволяют эффективно организовать связанные непрерывные процессы, основываясь на эффективном и стратегическом регулировании. В нынешнем положении эти процессы оказывают непосредственное воздействие на качество товаров и услуг, издержки на производстве, разработка и использование, способность к конкуренции компании.

Библиографический список

1. *Брутян, М.М.* К вопросу оценки уровней готовности логистики при реализации высокотехнологичных инновационных проектов // Креативная экономика. – 2014. – № 4 (88). – с. 99-104.
2. *Голоскоков, В.Н.* Особенности инновационной логистики и ее применение в сфере железнодорожного транспорта // Креативная экономика. – 2007. – Том 1. – № 6. – С. 75-82.
3. *Проценко, И.О.* Инновационная логистика – перспективы и реалии // Российское предпринимательство. – 2005. – Том 6. – № 12. – С. 89–94.

Сведения об авторах

ФИО

Галанина Л. С.

Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	gal.num1@mail.ru

Аннотация

В настоящий момент вопрос инновационного оснащения организации занимает первые позиции. Как система регулирования, логистика обязана быть эффективным средством привлечения современных ресурсов экономического развития, роста отдельных сфер. Логистика в стране способна обеспечивать новыми товарами, методиками развития и логистическими услугами.

Ключевые слова: логистика, инновационный, процесс, регулирование, логистический.

УДК 656.09

Разделы рубрикатора ГРНТИ 73.01.75

Комплексная оценка транспортного освоения лесов Северо-Западного федерального округа

Бжеленко П.В., Моисеева К.С., Тюрин Н.А.

Введение.

Северо-Западный федеральный округ – один из наиболее важных лесопромышленных регионов России. Площадь лесного фонда Северо-Западного федерального округа 117,9 млн. га, а общий запас древесины на корню – 10093 млн. м³, что составляет около 50% лесных ресурсов европейской части России. Вместе с тем, освоение расчетной лесосеки составляет чуть более 30% и одна из основных причин – слабое развитие лесной транспортной инфраструктуры и использование экстенсивной модели лесопользования. Для перехода на интенсивную модель, необходимо создание надежной транспортной сети, обеспечивающей многоцелевое лесопользование, охрану, защиту и воспроизводство лесов. В этой связи появляется необходимость в региональной количественной оценке необходимых объемов лесного дорожного строительства для полного транспортного освоения лесов региона. Ниже приведена количественная оценка требуемой протяженности лесных дорог для полного транспортного освоения лесов Северо-Западного федерального округа (СЗФО).

Содержание статьи

Лесная транспортная сеть состоит из автомобильных дорог общего пользования и специальных лесных магистралей и веток. Усы лесовозных дорог являются временными технологическими автомобильными дорогами и в данном исследовании не оценивались. Каждая дорога имеет грузосборочную зону, которая может быть интерпретирована в виде буферной зоны линейного объекта в геоинформационные системы. При известной ширине грузосборочной зоны дороги i -ой категории, ее протяженность для полного транспортного освоения лесов в j -том регионе может быть определена по следующей формуле:

$$L_{ij} = \frac{Ku_i Kn_{ij} S_j}{d_{ij}} \quad (1)$$

где Ku_i – коэффициент удлинения автомобильных дорог i -ой категории; Kn_{ij} – коэффициент неравномерности размещения дорог i -ой категории на территории j -ого региона; S_j – площадь лесов j -ого региона, км²; d_{ij} – ширина грузосборочной зоны автомобильной дороги i -ой категории в j -том регионе, км.

Коэффициент неравномерности размещения дорог общего пользования $Kn_{доп}$, магистралей Kn_M и веток Kn_B на территории j -ого региона определяется методом геоанализа по следующей зависимости:

$$Kn_{доп} = \frac{100L_{доп}d_{доп}}{S_{доп}} \quad Kn_M = \frac{100(L_{доп} + L_M)d_M}{S_M} \quad Kn_B = \frac{100(L_{доп} + L_M + L_B)d_B}{S_B} \quad (2)$$

где $L_{доп}$, L_M , L_B – протяженность дорог общего пользования, магистралей и веток в границах региона, км; $d_{доп}$, d_M , d_B – ширина грузосборочной зоны к дороге общего пользования, лесовозной магистрали и ветки, км; $S_{доп}$, S_M , S_B – площадь лесов региона, освоенная существующими дорогами общего пользования, лесовозными магистралями и ветками, га.

Коэффициент неравномерности размещения дорог при рациональном их размещении по площади региона будет равен 1.0. При неравномерном размещении лесных дорог их грузосборочные зоны будут накладываться друг на друга, так что площадь единой грузосборочной зоны будет всегда меньше суммы площадей грузосборочных зон отдельных дорог, а, следовательно, коэффициент неравномерности всегда будет равен или больше 1.0.

Площадь лесов региона, освоенная существующими дорогами общего пользования, лесовозными магистралями и ветками определяется отдельно по категориям дорог, методом буферизации в геоинформационной системе. На (рис. 1) представлена тематическая карта территории Новгородской области, освоенная лесовозными ветками (белый цвет) и не освоенной (зеленый цвет).



Рис. 1. Определение площади освоения территории Новгородской области существующими лесовозными ветками

Ширина грузосборочной зоны дороги зависит от природно-климатических факторов региона, таксационных показателей леса, технологии лесосечных работ и определяется для каждой категории дороги отдельно. На кафедре Промышленного транспорта леса СПбГЛТУ создана автоматизированная система оптимизации грузосборочных зон автомобильных дорог [1]. Критерием оптимизации является минимум удельных затрат (руб/га) на создание транспортной инфраструктуры, заготовку и вывозку древесины, и весь комплекс лесохозяйственных работ на воспроизводство лесов, определяемых по формуле:

$$S_{\text{общ.}} = S_{\text{стр.т.с.}} + S_{\text{с.р.т.с.}} + S_{\text{з.в.д.}} + S_{\text{воспр.л.}} \rightarrow \min , \quad (3)$$

где $S_{\text{стр.т.с.}}$ – суммарные удельные затраты на строительство транспортной сети, руб/га; $S_{\text{с.р.т.с.}}$ – суммарные удельные затраты на содержание и ремонт транспортной сети, руб/га; $S_{\text{з.в.д.}}$ – суммарные удельные затраты на заготовку и вывозку древесины, руб/га; $S_{\text{воспр.л.}}$ – суммарные удельные затраты на воспроизводство лесов, руб/га.

Реализация поставленной оптимизационной задачи осуществлена в среде MS EXCEL с помощью подсистемы «Поиск решения», методом обобщенного приведенного градиента и ГИС-проекта транспортной инфраструктуры СЗФО на основе следующего алгоритма.

1. Решением оптимизационной модели (3) в среде MS EXCEL, находили оптимальные грузосборочные зоны дорог общего пользования, лесовозных магистралей и лесовозных веток для каждого региона.
2. По формуле (1-2) определяли коэффициент неравномерности размещения дорог для каждого региона СЗФО и рассчитывали общую требуемую протяженность дорог для полного транспортного освоения лесов региона по категориям: дороги общего пользования, магистрали, ветки. Фактические коэффициенты удлинения автодорог и неравномерности их размещения в регионе определялись по ГИС-проекту существующей транспортной инфраструктуры методами геоанализа.
3. На основании Лесных планов субъектов СЗФО, материалов Росстата и ГИС-анализа картографических источников определялось фактическое наличие на 2019 г. автомобильных дорог в регионах по категориям: дороги общего пользования, лесные магистрали, ветки.
4. По установленной фактической и требуемой протяженности дорог в регионе рассчитывалась потребность в их дополнительном строительстве для полного транспортного освоения лесов.

На основании приведенной выше методики, был выполнен расчет оптимальных параметров ширины грузосборочных зон лесных дорог по субъектам СЗФО и требуемой их протяженности для полного транспортного освоения лесов региона. Оптимальная ширина грузосборочных зон автодорог по регионам округа составила: дороги общего пользования 35,7...39,8 км, лесовозные магистрали 21,3...21,9 км, лесовозные ветки 8,7...9,8 км. При этом оптимальная плотность автомобильных дорог лесной транспортной сети по регионам СЗФО изменялась от 12 до 15 км/1000 га. Полученные количественные оценки объемов лесного дорожного строительства и сроков, необходимые для полного транспортного освоения лесов, приведены в табл. 1.

Анализ полученных данных подтверждает слабую степень транспортной освоенности лесов региона. Так, в целом по СЗФО, потребность в дорогах общего пользования удовлетворена лишь на 27% и требует дополнительного их строительства в объеме 19,2 тыс. км. Существующие лесные магистрали составляют по протяженности лишь 29% от требуемой протяженности 106,0 тыс. км. При отсутствии дорог общего пользования в регионе, лесозаготовители вынуждены будут строить дополнительные лесовозные магистрали протяженностью 19,2 тыс. км. Существующая лесная сеть веток по протяженности составляет 36% от требуемой. Для полного транспортного освоения лесов СЗФО потребуется дополнительное строительство 300,3 тыс. км. таких дорог.

Таблица 1. Объемы лесного дорожного строительства для полного транспортного освоения лесов СЗФО

Регион	Дороги общего пользования, тыс. км			Лесовозные магистрали, тыс. км			Лесовозные ветки, тыс. км		
	требуется всего	в наличии	требуется построить	требуется всего	в наличии	требуется построить	требуется всего	в наличии	требуется построить
Республика Карелия	3,0	1,4	1,6	11,9	2,1	9,7	54,9	46,6	8,3
Республика Коми	6,8	0,3	6,5	27,5	3,1	24,4	126,9	46,2	80,7
Архангельская область	6,7	0,6	6,1	27,2	2,2	25,0	125,7	7,9	117,9
Вологодская область	2,4	1,0	1,3	9,5	4,6	4,9	38,4	23,6	14,8
Калининградская область	0,2	0,3	0,0	1,0	3,4	0,0	4,1	5,2	0,0
Ленинградская область	4,5	1,7	2,8	18,0	6,1	12,0	73,2	8,2	64,9
Мурманская область	0,8	0,6	0,3	3,7	1,4	2,2	14,9	4,2	10,7
Новгородская область	0,9	0,6	0,4	3,6	4,5	0,0	16,5	15,8	0,7
Псковская область	0,9	0,8	0,2	3,7	3,9	0,0	14,9	12,6	2,3
Всего	26,2	7,1	19,2	106,0	31,2	78,3	469,5	170,3	300,3

Заключение

Современные оптимизационные методы и геоинформационные средства проектирования лесной транспортной инфраструктуры позволяют оптимизировать ширину грузосборочных зон автомобильных дорог по критерию минимума расходов на лесопользование с учетом природно-климатических особенностей региона и оценить потребность в строительстве дорог для полного транспортного освоения лесов региона.

Библиографический список

1. Тюрин Н.А., Громская Л.Я., Антонова Т.С. Проектирование лесотранспортной инфраструктуры: учебное пособие. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. – 119 с. ЭБС <http://e.lanbook.com> Раздел «Лесное хозяйство и лесоинженерное дело».

Сведения об авторах

ФИО Бжеленко П.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 2118-1508
e-mail gal.num1@mail.ru

ФИО Моисеева К.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9367-4044
e-mail gal.num1@mail.ru

ФИО Тюрин Н.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8998-5234
e-mail tnalif@mail.ru

Аннотация

В статье приводятся результаты расчетов необходимого километража лесных дорог по формуле из учебного пособия.

Ключевые слова: полное транспортное освоение лесов, дороги общего пользования, лесные магистрали, ветки, грузосборочная зона дороги, коэффициент неравномерности размещения дорог.

УДК 630.384.4

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15

Оптимизация территориального размещения целлюлозно-бумажного комбината по критерию грузовой работы доставки сырья

Мотовилов Г.К., Тюрин Н.А.

Введение.

Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года [1] предусматривает наращивание выпуска продукции глубокой переработки древесины с высокой добавленной стоимостью. Обоснование территориального размещения центра такой переработки древесины – целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК) – должно выполняться в тесной увязке с различными экономическими, техническими, экологическими и социальными критериями и является сложной многовариантной задачей. Решение таких задач наиболее целесообразно на основе математико-картографического моделирования средствами геоинформационных систем.

Ниже предлагается математическая модель и алгоритм территориального размещения планируемого ЦБК в Новгородской области [2] по критерию минимума грузовой работы доставки сырья на основе нелинейной оптимизации эволюционным методом и геоинформационных технологий. В отличие от точных методов математического программирования эволюционный метод позволяет находить решения, близкие к оптимальным, за приемлемое время. В отличие от известных эвристических методов оптимизации нелинейных функций, эволюционный метод характеризуется существенно меньшей зависимостью от особенностей приложения и в большинстве случаев, обеспечивают лучшую степень приближения к оптимальному решению.

Содержание статьи.

В качестве целевой функции данной задачи будем рассматривать суммарную грузовую работу лесотранспорта от заданных точек центров запасов лесничеств области (x_i, y_i) , $(\forall i \in \{1, n\})$ до искомой точки местоположения целлюлозно-бумажного комбината (x_0, y_0) с учетом имеющихся объемов древесного сырья и существующих в регионе автомобильных дорог:

$$R = \sum_{i=1}^n q_i k_i^2 \sqrt{(x_0 - x_i)^2 + (y_0 - y_i)^2} = \min \quad (1)$$

$$\sum_{i=1}^n q_i = B ; i=1, \dots, n; \quad (2)$$

$$q_i \leq r_i Q_i ; i=1, \dots, n \quad (3)$$

$$q_i \geq 0 ; i=1, \dots, n; \quad (4)$$

где R – сумма грузовой работы в тыс. м³ * км/год доставки балансов на комбинат; x_0, y_0 – определяемые координаты расположения ЦБК; x_i, y_i – координаты центроидов запасов древесины в i -том лесничестве; k_i – коэффициент удлинения доставки балансов с i -ого лесничества на комбинат с учетом существующих дорог; n – количество лесничеств в области; B – мощность комбината по сырью, тыс. м³ /год; r_i – выход балансовой древесины в i -том лесничестве, доли ед.; Q_i – расчетная лесосека i -го лесничества, тыс. м³/год.

Коэффициент удлинения определяется на основе геоинформационных технологий по формуле:

$$k_i = \frac{l_i^t}{l_i^p} \quad (5)$$

где l_i^t – расстояние доставки балансов от i -го лесничества по существующим автомобильным дорогам до точки местоположения ЦБК, км; l_i^v – воздушное расстояние от центра заповедника i -го лесничества до ЦБК в км.

Необходимо найти такие координаты ЦБК x_0, y_0 и объемы доставки балансов с каждого лесничества q_i при которых минимизируется грузовая работа перемещения лесного сырья на комбинат с учетом ограничений (2-4).

Естественными ограничениями, накладываемыми на целевую функцию, являлось выполнение запланированного объема заготовки V тыс. м³ балансовой древесины на комбинат (2), а также не превышение годовой расчетной лесосеки каждого лесничества (3) и не отрицательность объемов поставки (4).

Реализация поставленной оптимизационной задачи размещения ЦБК на примере Новгородской области осуществлена в среде MS EXCEL с помощью подсистемы «Поиск решения» и ГИС-проекта лесосырьевой базы Новгородской области на основе следующего алгоритма.

1. Решением оптимизационной модели (1) в среде MS EXCEL эволюционным методом, находят координаты оптимального положения ЦБК и объемов поставки балансов с каждого лесничества без учета существующей транспортной сети (при коэффициенте удлинения 1,0).

2. Полученные координаты ЦБК x_0, y_0 наносят на карту (рис 1, точка 1) и рассчитывают коэффициенты удлинения расстояния вывозки с учетом использования существующих автомобильных дорог региона для доставки балансов по формуле (5).



Рис. 1. Этапы эвристического алгоритма размещения ЦБК

3. Вновь рассчитывают оптимальные координаты ЦБК и объемы поставки балансов по оптимизационной модели (1) теперь уже с учетом существующей транспортной сети региона, учтенной коэффициентами удлинения и наносят на карту уточненную точку положения ЦБК (рис.1, точка 2).

4. Вблизи точки найденного оптимального положения ЦБК (рис 1., точка 2) рассматривают все населенные пункты и варианты строительных

площадок под ЦБК на возможность размещения в них комбината по условиям наличия железных и автомобильных дорог, рабочей силы, источников воды, электроэнергии и других факторов. Для каждого выбранного населенного пункта и строительной площадки размещения комбината вносятся их координаты в целевую функцию (1) и решается задача теперь уже только оптимизации поставки сырья по критерию минимума транспортной работы (2-5). Полученные результаты (рис. 2) позволяют принять окончательное решение размещения ЦБК по критерию транспортной работы доставки сырья.

Минимальная грузовая работа доставки балансов проектной мощности комбината по сырью 1800 тыс. м³ [2], обеспечивается при размещении ЦБК в районе пос. Любытино и составляет 142430 тыс. м³*км в год при среднем расстоянии доставки 118,7 км. Другими альтернативными вариантами размещения комбината может быть вариант его размещения в окрестностях п. Мстинский мост и п. Неболчи. Грузовая работа доставки сырья на комбинат увеличивается в этом случае соответственно, лишь на 10% и 25%. Для сравнения, грузовая работа доставки сырья при намеченном в статье [2] размещении ЦБК в окрестностях г. Пестово по сравнению с оптимальным вариантом в Любытино, увеличивается в 2,16 раза и составляет 307168 тыс.м³*км/год.

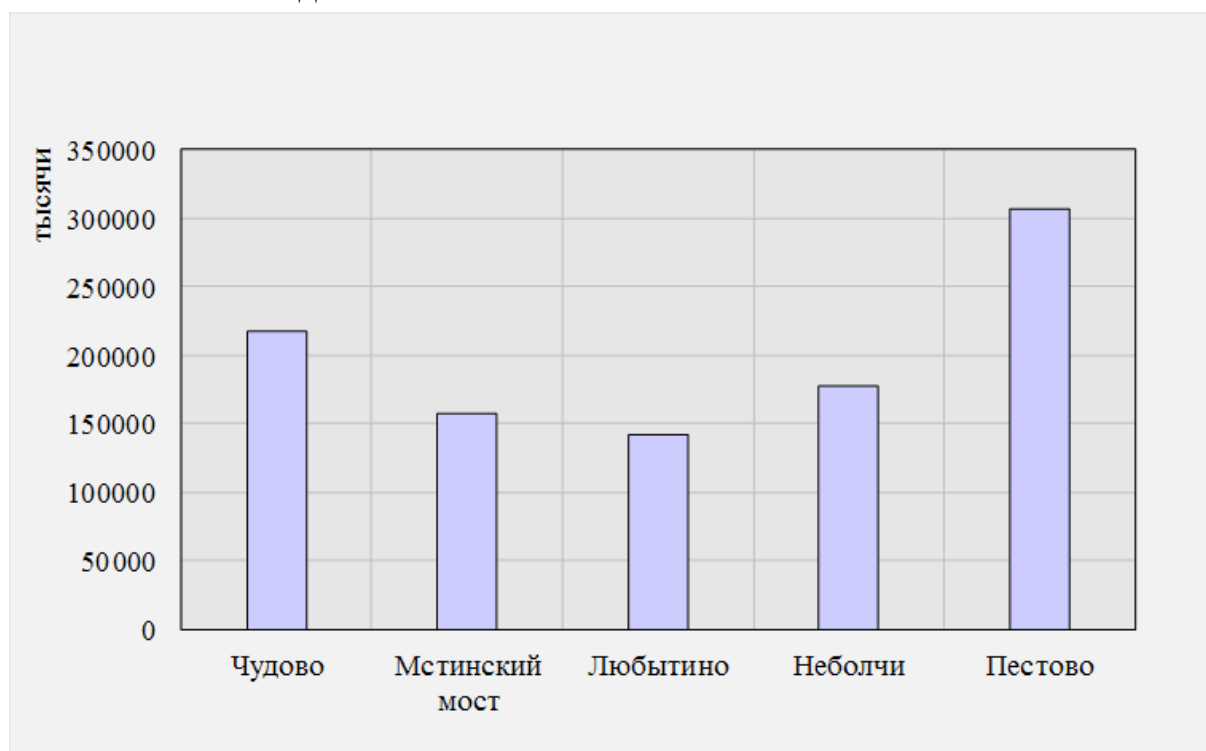


Рис. 2. Грузовая работа доставки сырья на ЦБК, тыс. м. куб*км в год.

Заключение

Выполненные машинные эксперименты подтвердили достоверность предложенной методики, которая может быть рекомендована для оптимизации

территориального размещения ЦБК эволюционным математическим методом по критерию минимума транспортной работы доставки сырья. Выполненные расчеты для условий строительства комбината в Новгородской области позволяют рекомендовать его размещение в окрестностях п. Любытино.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11.02.2021 №312р. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года.
2. Строительство ЦБК в Пестове – межрегиональный проект, способный повлиять на экономику Северо-Запада. Режим доступа: свободный. URL: <https://novvedomosti.ru/articles/economics-business/14392/> (дата обращения 11.01.21).

Сведения об авторах

ФИО	Мотовилов Г.К.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3588-2990
e-mail	ziber71@gmail.com
ФИО	Тюрин Н.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8998-5234
e-mail	tnalif@mail.ru

Аннотация

Дано обоснование оптимального местонахождения целлюлозно-бумажного комбината в Новгородской области по критерию минимума грузовой работы доставки сырья.

Ключевые слова: грузовая работа, оптимизация местоположения ЦБК, расчетная лесосека лесничества, среднее расстояние вывозки балансов, эволюционный метод.

УДК 630*6

Разделы рубрикатора ГРНТИ 68.01.29

Системы управления складской логистикой

Давидов А.В., Антонова Т.С.

Введение

Развитие современной складской логистики невозможно представить без использования современных компьютерных технологий. Информационные системы служат для автоматизации всех бизнес-процессов предприятия. При выборе систем автоматизации складских процессов возникает вопрос: воспользоваться специализированной программой, заточенной под выполнение конкретных операций или дополнением к уже имеющийся системе. В данной статье рассматриваются причины и проблемы внедрения данных систем.

Содержание статьи

Логистика склада – это технология управления запасами, которая должна обеспечивать хранение, приемку и доставку продукции точно в срок. Большое значение имеет само сооружение склада, в котором осуществляется накопление, хранение и распределение товаров. Также одной из главных целей логистики складирования является обеспечение оптимального размещения грузов на складе и управление им.

Складская логистика, по своему определению, подразумевает учет, оформление и правильное распределение складских запасов. Полную картину можно увидеть в показателях эффективности работы склада. Оптимизация такой системы является гарантией успешного развития компании и способствует постепенному расширению клиентской базы [1].

Для управления логистикой склада используют современные информационные системы, такие как ERP (сокр. от Enterprise Resource Planning “планирование ресурсов предприятия”) с дополнительной библиотекой для управления складом, либо полноценную WMS (сокр. от Warehouse Management System “Системы управления складом”) систему.

Системы класса ERP характеризуются использованием единой транзакционной системы для подавляющего большинства операций и бизнес-процессов организации, а также обязательностью сведения всех операций в единую базу для последующей обработки и получения оперативной отчетности [2]. В российской классификации ERP-системы относятся к классу АСУП (Автоматизированная система управления предприятием). Лидерами по внедрению систем класса ERP, являются торговые и финансовые компании, для которых характерен большой информационный поток (рис.1).

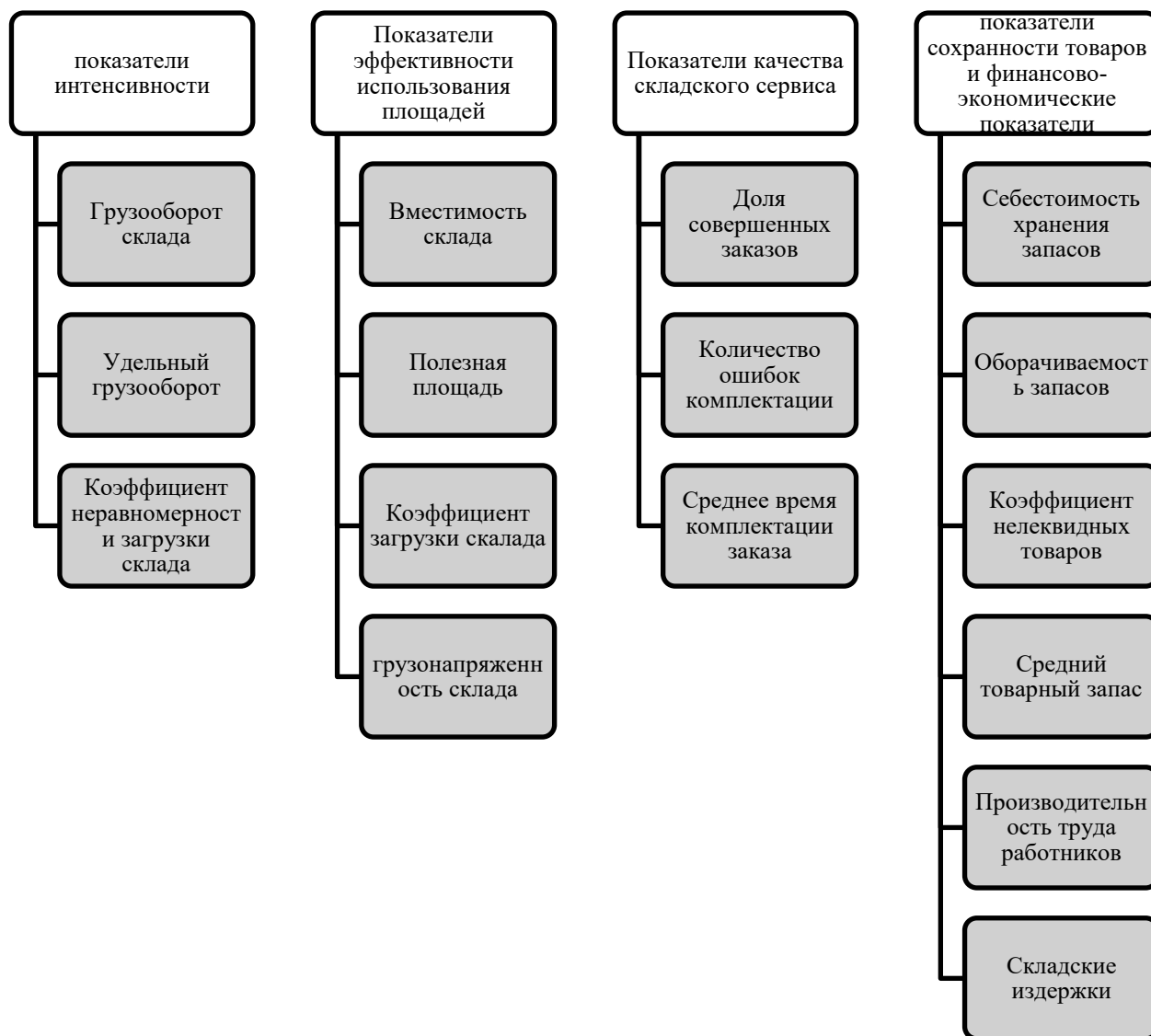


Рис. 1. Показатели работы склада

Системы класса WMS предназначены для управления технологическими операциями внутри склада в реальном времени [3]. В данном случае в качестве операций рассматриваются атомарные операции-действия: взять коробку, положить коробку, пересчитать коробку и т.д. В российской классификации WMS-системы относятся к классу АСУТП (Автоматизированная система управления технологическими процессами).

Причины внедрения информационных систем на каждом предприятии различны, но главными из них являются:

- интеграция бизнес-процессов по единым правилам;
- повышение конкурентоспособности предприятия;
- необходимость контроля уровня запасов;
- снижение риска ущерба, вызванного ошибками сотрудников;

- необходимость управления приемкой, размещением и хранением товара на складе.

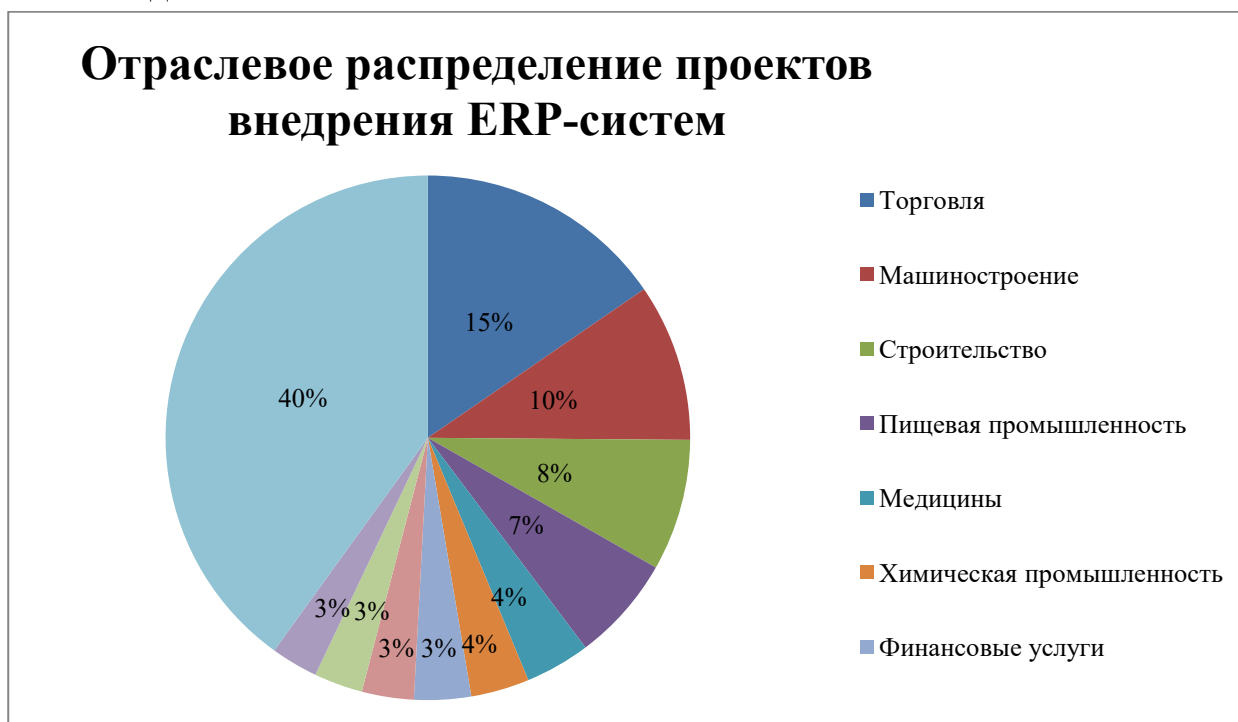


Рис. 2. Отраслевое распределение проектов внедрения ERP-систем

Источник: Tadviser.ru

Для управления складом лучше всего использовать специально разработанные под эти задачи системы. Ведь разработчик и экспертная команда специализируются именно на работе склада. Для человека, который никогда не имел дело с WMS системами, может показаться, что они идентичны. Но так как используются совершенно разные подходы к реализации поставленных задач ERP системы уступают WMS системам.

Чтобы определиться в выборе системы нужно рассмотреть ряд показателей таких как:

- соответствие системы целям внедрения;
- экономическую эффективность;
- производительность и функциональность системы;
- возможность работы в онлайн режиме.

Так как складской модуль ERP построен на пакетной архитектуре, что означает обработку информации не по мере поступления, а партиями. Что делает невозможность обработки информации в режиме реального времени. Допустим, прежде чем начать размещение товара на складе, нужно будет принять поставку целиком. По этой же причине проблемы возникают на каждом участке технологического процесса, неэффективное использование зоны хранения, задержка товара для отбора и медленная реакция на отклонения.

В свою очередь WMS системы способны:

- принимать товар частями, задание на размещение формируется на каждый товар отдельно, что позволяет быстро освободить зону приемки;
- планировать ячейки размещения товара только тогда, когда кладовщик взял этот товар для размещения;
- обрабатывать товар максимально быстро, товар становится доступным для отбора сразу, после установки его в ячейку.

После выбора информационной системы предприятие сталкивается с проблемами внедрения информационных систем [4], такими как:

- ограниченный бюджет предприятия;
- низкая производительность аппаратно-технической части информационной системы;
- проблемы интеграции со сторонними IT-решениями;
- нежелание персонала обучаться;

экономическая неэффективность внедрения информационных систем.

Непрофессиональное решение указанных проблем приводит к низкой эффективности использования информационной системы, а также к убыткам и реорганизации работы склада. Наиболее значимые критерии для выбора системы управления складом, с точки зрения потенциальных заказчиков представлены в табл.1. Всего было опрошено 48 компаний, потенциально заинтересованных в автоматизации склада. Участники опроса могли выбирать до трех критериев в качестве наиболее значимых, поэтому общая сумма больше 100% [5].

Таблица 1. Критерии для выбора системы управления складом

Критерий	Степень значимости (процент от общего числа опрошенных)
Стоимость решения	25%
История продаж решения в России	31%
История продаж решения зарубежом	3%
Широта функционала	58%
Адаптируемость	42%
Соответствие решения условиям и бизнес-процессам	81%
Легкость обучения персонала	60%

Быстрое развитие информационных технологий облегчает и усложняет работу предприятий. Для того чтобы, быть конкурентоспособными, предприятия должны постоянно совершенствовать обработку информационного потока. Современные информационные системы должны отвечать требованиям рынка и поддерживать дальнейшее развитие.

Преимущество WMS систем в том, что она способна распоряжаться товарным потоком на складе и его ресурсами (материальными и человеческими). В свою очередь функционала ERP систем может быть недостаточно, так как изначально они заточены под решение экономических задач, а все остальные модули являются дополнительными. ERP система подойдет для компании в котором нет сложных бизнес-процессов на складе и для предприятия с небольшим товарооборотом. Для больших складов и складских терминалов нужна специализированная WMS система к выбору которой нужно подходить на основе тщательного анализа предлагаемого функционала.

Внедрение информационных систем осуществляется с целью повышения эффективности складских операций, правильный подход к выбору информационной системы позволит, предприятию сократить расходы и более эффективно организовать работу склада.

Библиографический список

1. Антонова, Т. С. Складская логистика: учебное пособие / Т. С. Антонова. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – 100 с. – ISBN 978-5-9239-1160-2. – Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. – URL: <https://e.lanbook.com/book/139155> (дата обращения: 22.03.2021). – Режим доступа: для авториз. пользователей.
2. Tadviser.ru: портал выбора технологий и поставщиков [Электронный ресурс]. Режимдоступа: https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ERP_или_WMS%3F, свободный. – Загл.сэкрана
3. Tadviser.ru: портал выбора технологий и поставщиков [Электронный ресурс]. Режимдоступа:<https://www.tadviser.ru/index.php/WMS>,свободный. – Загл. сэкрана
4. Axelot.ru: официальный сайт компании Axelot [Электронный ресурс]. Режим доступа:https://www.axelot.ru/knowhow/method/detail_15151/,свободный. – Загл.сэкрана
5. cnews.ru: интернет-издание о высоких технологиях [электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.cnews.ru/reviews/free/trade2008/articles/wms.shtml>, свободный – Загл. с экрана.

Сведения об авторах

ФИО	Давидов Андрей Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	Andrevv97@gmail.com

ФИО Антонова Татьяна Степановна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4581-5931
e-mail antonova.stl@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются информационные системы управления складом. Как выбрать информационные системы на складе и с какими проблемами сталкиваются предприятия при внедрении этих систем.

Ключевые слова: ERP, WMS, складская логистика, информационные системы.

УДК 681.518

Разделы рубрикатора ГРНТИ 20.53.17

Оценка влияния транспортной инфраструктуры на древесную продуктивность леса

Швыдкий И.П., Тюрин Н.А.

Введение

Роль и значение транспортной инфраструктуры для эффективного лесопользования трудно переоценить. Лесные дороги связывают лесной массив в единую хозяйственную систему, обеспечивая эффективное лесопользование, защиту, охрану и воспроизводство лесов. Фактически, если нет дорог, то нет и пользования лесом. Вместе с тем влияние транспортной инфраструктуры на важнейший показатель лесохозяйственной деятельности – продуктивность выращивания лесных ресурсов, мало изучена.

Данное исследование направлено на изучение связей между прямыми и косвенными показателями развития транспортной инфраструктуры и продуктивностью леса, оцениваемой среднегодовым приростом древесины в м³/га. Оно позволит определить, насколько сильно и каким образом продуктивность леса зависит от количественных показателей развития инфраструктуры региона.

Содержание статьи

Количественными показателями развития транспортной инфраструктуры в лесу являются: густота транспортной сети, коэффициент Энгеля, наличие средств автотранспорта на единицу площади региона, тыс. авт/км² [1].

Косвенным показателем развития транспортной освоенности региона является плотность населения региона, тыс. чел/км². Влияние климатических показателей региона на продуктивность леса оценивалась среднегодовой температурой.

Показатель густоты лесотранспортной сети, характеризуется протяженностью дорог в данном регионе в км., приходящихся на 1000 га. площади лесов региона.

Коэффициент Энгеля показывает уровень обеспеченности транспортными путями населения региона, и рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{L}{\sqrt{SH}}; \quad (1)$$

где L – протяженность дорог в регионе, км; S – площадь территории региона, тыс. га; H – численность населения, тыс. чел.

Важным показателем результативности лесохозяйственных мероприятий является древесная продуктивность, оцениваемая среднегодовым приростом объема древесины в м.куб. на га лесной площади в год. Для исследования степени влияния показателей развития лесной транспортной сети на продуктивность леса в регионе выполнен корреляционный и регрессионный анализ этих показателей по регионам РФ. Для расчетов использовали официальные данные Федеральной службы гос. статистики, Единой межведомственной информационно-статистической системы и Федерального агентства лесного хозяйства, а также программный комплекс «Microsoft Office Excel».

Проведенный корреляционный анализ (табл. 1) позволил выявить статистически значимую связь между среднегодовым приростом и густотой транспортной сети в регионах РФ. Полученное значение коэффициента корреляции Пирсона $R = 0,45 - 0,96$, характеризует положительную взаимосвязь между значениями среднегодового прироста и плотностью дорог. Помимо густоты, положительный результат дало взаимодействие среднегодового прироста и коэффициента Энгеля, значение корреляции Пирсона которого равно $R = 0,47 - 0,89$. Также слабую положительную связь прироста можно наблюдать с средней годовой температурой региона, плотностью населения и количеством автотранспорта на ед. площади региона. ($R = 0,47 - 0,53$)

Выполненный регрессионный анализ в целом по Российской Федерации позволил получить следующий вид статистической зависимости среднегодового прироста от коэффициента Энгеля (рис. 1) и аппроксимировать ее нелинейной зависимостью вида

$$y = -0,0148K^2 + 0,1327K + 0,0045; \quad (2)$$

Таблица 1. Результаты корреляционного анализа с положительной связью

	Коэффициент корреляции прироста в зависимости от факторов:				
	густота транспортной сети	плотность населения	количество автотранспорта на ед. площади	коэффициент. Энгеля	среднегодовая. температур а региона
В целом по РФ	0,6688	0,4712	0,5371	0,8025	-
Центральный федеральный округ	-0,1318	0,0362	0,0031	-0,2202	-0,5079
Северо-Западный федеральный округ	0,9425	0,7151	0,7151	0,8919	0,9425
Южный федеральный округ	0,8264	0,7732	0,8576	0,8106	0,4296
Северо-Кавказский федеральный округ	0,5226	0,4040	0,5516	0,6316	-0,0007
Приволжский федеральный округ	0,4525	0,4430	0,3666	0,4703	0,3122
Уральский федеральный округ	0,9555	0,7686	0,7877	0,8774	0,8023
Сибирский федеральный округ	0,8798	0,8525	0,8434	0,7017	0,8194
Дальневосточный федеральный округ	0,9252	0,8225	0,6590	0,8641	0,4639

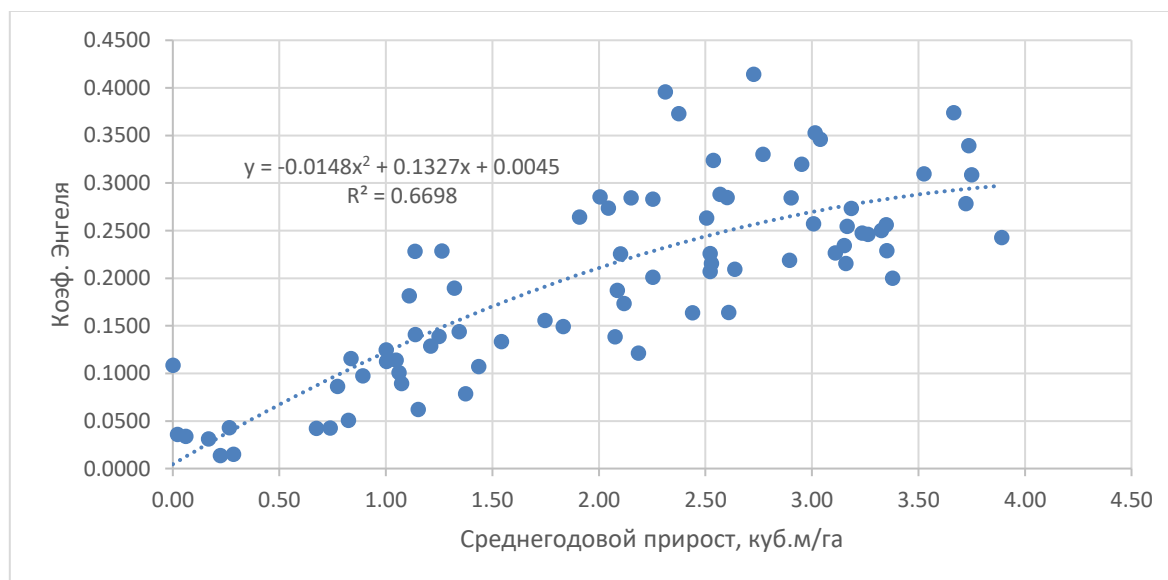


Рис. 1. График зависимости среднегодового прироста от коэффициента Энгеля

График зависимости среднегодового прироста от густоты транспортной сети (g) в целом по РФ представлен на рис. 2. Эта зависимость может быть аппроксимирована следующим уравнением

$$y = -0,3114g^2 + 3,0279g - 0,9963; \quad (2)$$

В целом, были получены невысокие коэффициенты детерминации $R^2=0,44-0,46$ у плотности транспортной сети и $R^2=0,64-0,67$ у коэффициента Энгеля, которые показывают слабое соответствие регрессионных линий исходным данным.

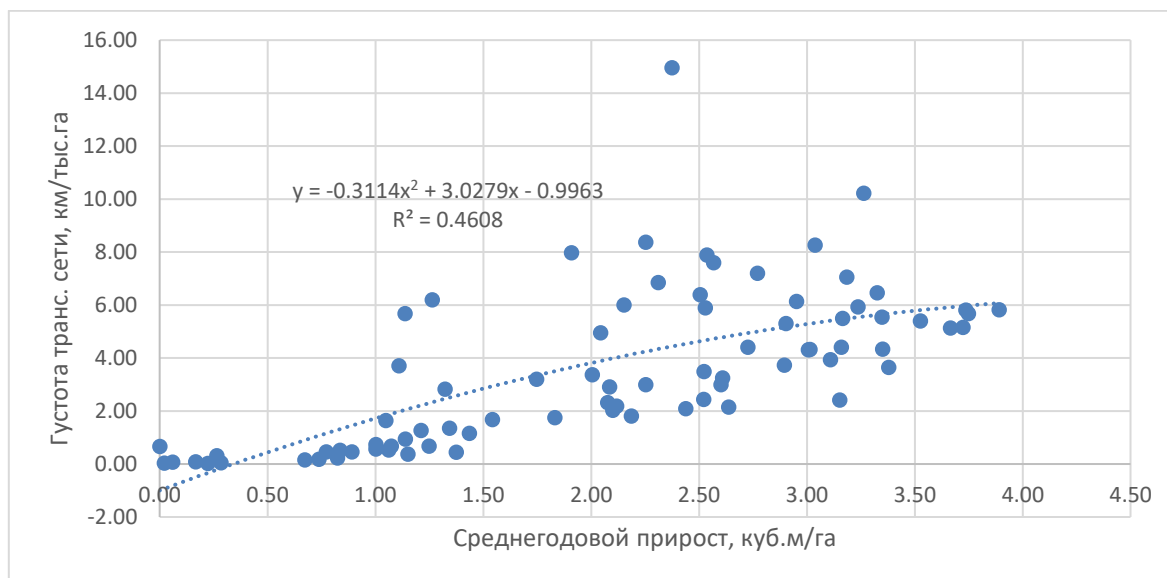


Рис. 2. График зависимости среднегодового прироста от густоты транспортной сети

На основе характера регрессионных линий, можно сказать о положительной тенденции зависимых показателей. Это может означать, что высокая плотность дорожной сети и обеспеченность автотранспортном населения воздействуют на увеличение продуктивности лесов лишь косвенно, т.е. обеспечивая доступность лесной территории для проведения мероприятий по уходу за лесом, а, следовательно, повышению продуктивности лесных ресурсов.

Регрессионный анализ по остальным показателям (кол-во автотранспорта на ед. площади региона, плотность населения и средняя годовая температура) не дал положительного результата в рамках всей Российской Федерации. Коэффициенты детерминации не превысили $R^2=0,29$.

Необходимо отметить, что в многолесных регионах РФ, а именно: в Северо-Западном, Сибирском, Уральском и Дальневосточном федеральных округах, замечена особо сильная зависимость среднегодового прироста от густоты транспортной сети (рис. 3). Помимо этого, в данных региона (в отрыве от общероссийского анализа) замечена положительная связь среднегодового прироста и количества автотранспорта на ед. площади, плотности населения и средней годовой температуры.

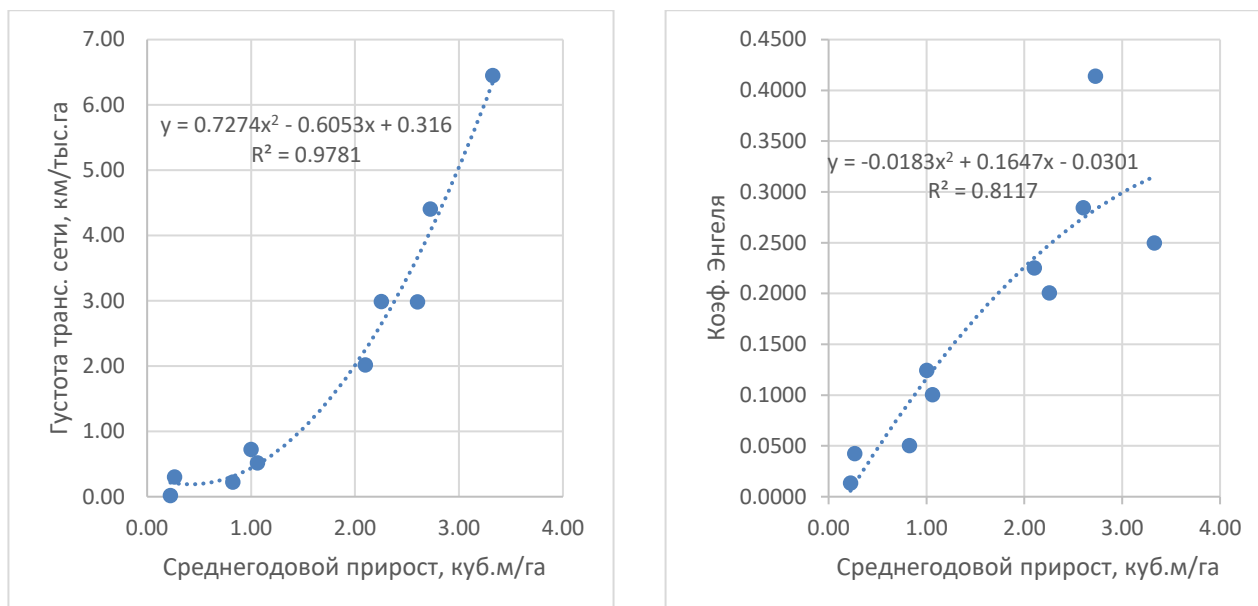


Рис. 3. Графики нелинейной зависимости среднегодового прироста от густоты транспортной сети и коэффициента Энгеля в Северо-Западном федеральном округе

Заключение.

Как видно из данного исследования, густота транспортной сети косвенно воздействует на продуктивность леса, поскольку доступность лесных территорий позволяет более продуктивно и эффективно проводить работы по защите, охране и воспроизводству лесов, а также более рационально использовать экономические и технологические средства для осуществления лесопользования.

Этот же вывод можно отнести к коэффициенту Энгеля и плотности населения: поскольку людей достаточно много на ед. площади региона, и они обеспечены в достаточной мере автотранспортом, у них есть возможность активно работать, в том числе, в лесу, что косвенно влияет на прирост.

Также стоит отметить влияние температуры на продуктивность леса. В некоторых регионах видна четкая положительная связь между средней годовой температурой и приростом.

Библиографический список

1. Тюрин, Н.А. Комплексная оценка транспортной освоенности лесов методами геоанализа / Тюрин Н.А., Громская Л.Я., Антонова Т.С // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса СПбГЛТУ по итогам научно-исследовательских работ 2017 года – СПб, 2018 – с. 278-286.

Сведения об авторах

ФИО

Швыдкий И.П.

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код 9020-4332
e-mail chromspecial@gmail.com

ФИО Тюрин Н.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код 8998-5234
e-mail tnalif@mail.ru

Аннотация

Изложены результаты корреляционного и регрессионного анализа зависимости древесной продуктивности лесов Российской Федерации от показателей развития лесной транспортной инфраструктуры.

Ключевые слова: древесная продуктивность леса, густота транспортной сети, коэффициент Энгеля, корреляционный анализ, уравнение регрессии.

УДК 625.7/.8

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.11

Психологические особенности взаимодействия студентов и преподавателей лесного вуза

Теплов А.В., Сафонова Н.Ю., Кретинин В.И.

Введение. Студенты разных учебных заведениях получают специфические знания, направленные на формирование специального образования. В зависимости от направленности вуза (техникума) группы студентов имеют, как правило, характерные психологические черты [1].

Кроме того, характер труда студентов, который непосредственно связан с усвоением сложного нового материала и овладением новыми знаниями, с самостоятельным «добыванием» той или иной информации, условиями жизни, в которых студенты общаются и обучаются, может существенно различаться у студентов различной направленности. В связи с этими особенностями у студенчества могут формироваться различные жизненные ценности, установки, направленность.

Направленность личности подразумевает систему устойчивых убеждений, интересов, потребностей, склонностей и идеалов, которые определяют основные направления поведения молодого человека. Направленность

личности всегда социально обусловлена и формируется в процессе развития и воспитания личности в семье, ее дальнейшего обучения и является свойством личности [2].

Современные особенности образования в России отличаются своеобразными особенностями, проявляющимися в том, что у части образовательных учреждений расширилась самостоятельность в определении содержания и продолжительности курсов преподаваемых дисциплин. Периодически это становится препятствием к получению равных по объему и качеству знаний студентов государственных и негосударственных учебных заведений, а также студентов, проживающих в разных регионах нашей страны [1, 4, 6].

Кроме того, в настоящее время имеет место явное несоответствие системы образования потребностям рынка труда. Очевидно, что студенты обучаются профессиям, не находящим применения в условиях кризиса современной производственно-экономической сферы. С другой стороны, имеет место коммерциализация системы образования и превращение ее в сферу услуг, что зачастую приводит не только к перепроизводству престижных специальностей, но и еще большему несоответствию потребностей рынка труда.

К сожалению, до сих пор очевидно, что трудоустройство выпускников как государственных, так и негосударственных учебных заведений достаточно проблематично. Кроме того, существуют нерешенные проблемы во взаимодействиях между системой образования, студенчеством и потребностями армии. При этом затрагиваются фундаментальные ценности (патриотизм, чувство долга, самореализация личности, развитие способностей), что отражается в мотивационной сфере сознания [4].

Реализация компетентного подхода в современной образовательной системе связана прежде всего с изменением целей и содержания подготовки будущего специалиста, что привело к существенному изменению содержательного аспекта отдельных дисциплин.

Компетентный подход – один из тех методологических подходов, которые противопоставлены знаниевому, когда в качестве итога обучения рассматривается не сумма усвоенной информации, а способность выпускника действовать продуктивно в различных профессиональных и жизненных проблемных ситуациях.

Внедрение компетентного подхода тесно связано с рядом проблем. Так, например, есть сложности в определении иерархии и состава компетенций, т.е. в каждой учебной дисциплине предлагаются свои варианты компетенций, зачастую не согласованные даже по циклам близких между собой учебных курсов. Существенные сложности есть в разработке системы оценивания

компетентности. Кроме того, проблема есть и в определении соотношения «академических» знаний и компетентностей. Понятие компетентности является более широким, чем знания или умения: компетентность включает в себя знания, умения, учебный и жизненный опыт, ценности, интересы, которые самостоятельно реализуются обучаемым и используются им в определенной конкретной ситуации. Вполне очевидно, что основу всякой компетентности составляют знания, которые способны применяться в различных ситуациях [5].

Таким образом, в настоящее время есть ряд сложностей в построении структуры образовательного процесса в высшей школе и освоении учебных курсов студентами в силу их особенностей психологии и физиологии. Очевидно, что успешное освоение новой специальности зависит от психофизиологических особенностей студентов. Период обучения в ВУЗе приходится на особый возрастной период. По данным Б.Г. Ананьева [7] с 18 до 35 лет периоды застоя продолжительность не более 2-3 лет в психологическом развитии отмечаются только у 14,2% людей, что определяет этот возрастной период как стадию интенсивного развития. Процессы памяти и внимания в этот возрастной период имеют ряд особенностей, а именно достигают своего максимума функциональные возможности памяти и внимания, происходит подъём в эвристических (мыслительных) процессах. Кроме того, этот возрастной период характеризуется развитием нравственных и эстетических чувств, взрослением с присущими этому процессу чертами (включение в самостоятельную жизнь, создание семейных отношений, овладение начальными профессионально-трудовыми навыками, социализация).

Поступая в ВУЗ технической направленности будущий студент не всегда достоверно понимает в ходе обучения каким специалистом, он станет в будущем, кроме того ситуация с восприятием своих профессиональных устремлений может постоянно меняться. Поступление в ВУЗ с одной стороны это существенное повышение самооценки, погружение в среду общения с людьми, имеющими сходные интересы и убеждения. Но, безусловно это и первые трудности с освоением вузовской программы, нестабильно построенной в настоящее время, которые каждый студент переживает по-своему. Процесс адаптации к обучению может затягиваться из-за недостаточного понимания целей получения образования применительно к своей будущей профессии, неумения учиться, неспособность к самообразованию, так необходимому в вузе. Программа обучения включает широкий спектр различных дисциплин как естественно-научного, так и технического направления.

Заключение

Таким образом, с одной стороны есть объективные сложности в формировании взаимодействия преподаватель-студент, так как с одной стороны

преподаватель находится в психологически сложной ситуации осознания трудностей составления программы в условиях компетентного подхода и несоответствия потребностей рынка труда, куда выпускаются молодые специалисты и возможностей современного образования. С другой стороны, психологические особенности студентов также имеют особенности, которые могут становиться препятствием для взаимодействия с преподавателем и демотивировать будущих специалистов.

Выходом из создавшейся ситуации могли бы быть следующие принципы:

- Налаживание взаимодействия между работодателями и представителями вузов, обсуждение работающих учебных программ, которые помогут подготовить специалистов востребованных и конкурентоспособных на рынке труда.
- Разработка принципов профильного отбора будущих специалистов, формирование правильного представления о будущей профессиональной деятельности студентов
- Важно понимать и принимать психологические особенности студентов с позиций преодоления коммуникативных барьеров в связке «преподаватель - студент». Зачастую понимание особенностей возрастной психологии, осознание личностных трудностей студентов позволяет уменьшить эти барьеры. Эмоциональная эмпатия, желание помочь в освоении программы, способность к педагогической импровизации также возможно могли бы улучшить ситуацию.

Библиографический список

1. Теппоев, А.В. Гармонизация профессиональных и образовательных стандартов лесной отрасли. / Теппоев А.В., Кретинин В.И., Сафонова Н.Ю., Усачева В.Л., Лаптев Д.А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции. Отв. редактор В.А. Соколова. 2020. Издательство: СПбГЛТУ. / СПб.: 2020. – с.8-11.
2. Чернышова, Е.Л. Психологические особенности студентов вузов, обучающихся в разных образовательных средах // Известия Самарского научного центра российской академии наук, т. 17, №1(3), Самара: - 2015, с. 666-671
3. Социологический словарь / Отв. Ред. Г.В. Осипов, Л.Н. Москвичев. // М.: Норма, 2008.- 608 с.
4. Симонова, И.Э. Некоторые особенности содержательного аспекта математической подготовки студентов технического вуза в условиях компетентного подхода / Симонова И.Э., Лунева И.Г. // Известия Волгоградского государственного технического университета. Серия: новые образовательные системы и технологии обучения в вузе./ ВГТУ. Волгоград: - 2009. Т. 6. №10 (58). -С. 152-155
5. Нигматзянова, Г.Х. Сущность понятий «компетенция» и «компетентность» // Высшее образование в России. 2014. №3. С. 30-39.
6. Мамаева, Е.Е. Исследование индивидуально-психологических особенностей студентов вуза // Образование. Наука. Инновации: южное измерение. 2008. №3-4 (5-6). С. 83-85.
7. Ананьев, Б.Г. Человек как предмет познания. - СПб.: - 2002. - 492 с.

Сведения об авторах

ФИО Кретинин В.И.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4424-8046
e-mail kvi_1960@mail.ru

ФИО Теппоев А.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4451-4059
e-mail avt01@inbox.ru

ФИО Сафонова Н.Ю.
Организация Санкт-Петербургский научно-исследовательский психоневрологический институт им. В.М. Бехтерева
Адрес организации 192019, Бехтерева, д. 3, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9233-4754
e-mail astarta10@yandex.ru

Аннотация

Проанализированы различные психологические аспекты получения высшего образования и их соответствия современным образовательным подходам.

Ключевые слова: профессиональные стандарты, образовательные стандарты.

УДК 331.103.

Разделы рубрикатора ГРНТИ 14.01.75

Использование программы ANSYS для топологической оптимизации массы элементов конструкции лесных машин

Шевнин И.Н., Трофимов А.В.

Введение. Одно из основных требований потребителей лесной техники – высокая производительность, которая в значительной степени определяется

надёжностью конструкции и проходимостью машины в сложных условиях эксплуатации. Перечисленные свойства существенно зависят от массы изделия.

Задачу по уменьшению массы элементов системы часто решают при помощи метода топологической оптимизации. Технология решает задачу оптимального распределения материала в ограниченном пространстве (пространстве проектирования) с учетом нагрузок и закреплений. В результате, пользователь получает схему возможного удаления "лишнего" материала при сохранении функций конструкции и неизменном уровне надёжности. Появляется возможность адаптировать геометрию изделия под определенную технологию изготовления – традиционные технологии вычитания, аддитивные технологии и др.

Процедура оптимизации стала доступной благодаря широкому распространению компьютерной техники и развитию средств программного обеспечения на базе метода конечных элементов (МКЭ). Методика применения технологии в процессах проектирования лесной техники – несомненно актуальная задача для подготовки специалистов отрасли.

Постановка задачи.

Цель исследования заключалась в отработке вопросов проведения топологической оптимизации с использованием программы ANSYS с учётом расширения использования аддитивных производств.

Поэтапная реализация метода предусматривала решение следующих задач:

- анализ напряжений в исходной детали в режиме статической нагрузки;
- проведение топологической оптимизации;
- проведение верификационных расчётов.

Технология отработывалась на примере распространённого элемента многих конструкций – детали «Рычаг».

Анализ напряжений в исходной детали

Эскиз исходной детали представлен на рис. 1., а схема приложения сил и моментов сил на рис. 2.

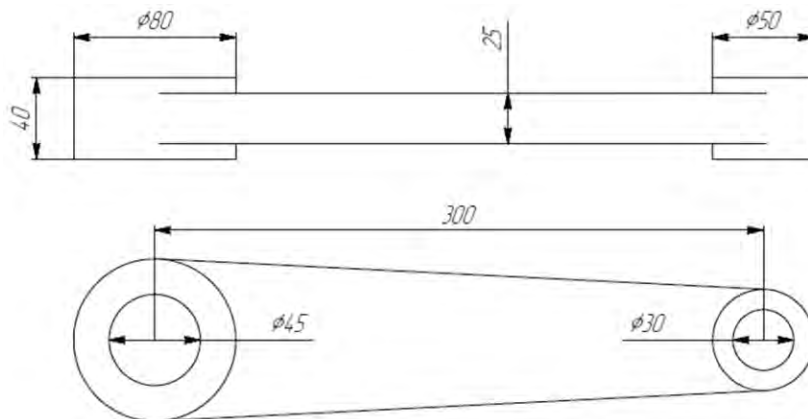


Рис. 1. Эскиз детали



Рис. 2. Расчётная схема приложения сил и моментов сил. ($F_1 = F_2 = 3000$ Н)

Материал – сталь конструкционная со следующими параметрами: плотность 7850 кг/м³; модуль Юнга – 200 ГПа; коэффициент Пуассона – $0,3$; предел текучести 250 МПа. Масса детали – $4,619$ кг.

Алгоритм выполнения статического анализа включал следующие действия:

- задание схемы приложения нагрузки;
- построение сетки КЭ на детали;
- выбор параметра оптимизации (эквивалентное напряжение по Мизесу);
- проведение расчётов (результат представлен на рис. 3.).

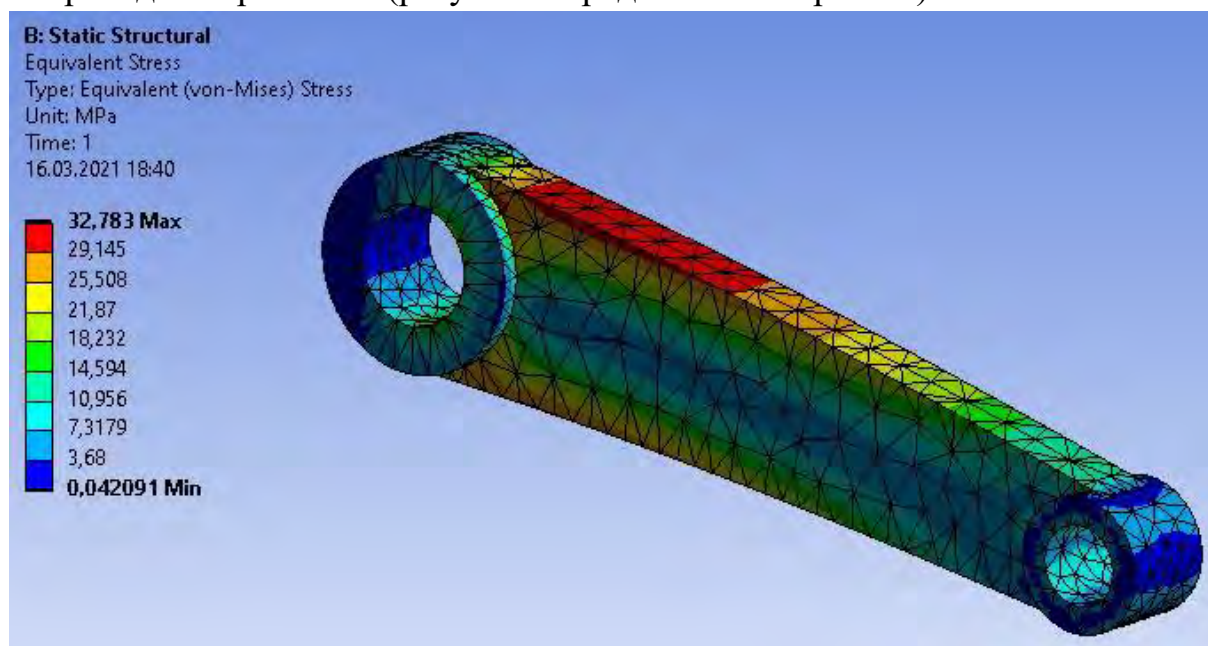


Рис. 3. Результат расчёта эквивалентных напряжений

В результате расчётов получены следующие результаты:

- при массе детали $4,619$ кг (традиционная технология изготовления) максимальное эквивалентное напряжение составило $32,783$ Мпа при допусаемом значении 250 МПа. У конструкции имеется значительный запас прочности даже с учётом возможной динамики нагружения.
- наиболее вероятной зоной снижения массы изменяемой части является область вдоль продольной оси стержня рычага.

Топологическая оптимизация конструкции.

Программа, по результатам статистического анализа, автоматически определяет оптимизируемые и исключенные зоны, но для лучшего результата рекомендовано задавать их вручную. Мы исключили из оптимизации два цилиндрических элемента (бобышка), так как эти части детали входят в состав шарнирных соединений (выделены красным цветом (рис.4)).

В качестве целевой функции выбрана жёсткость (*Compliance*). Управляемым параметром являлась масса в детали (процент массы, который должен остаться в оптимизированной детали - **50%**).

Модель, подготовленная к проведению топологической оптимизации, представлена на рис. 4.

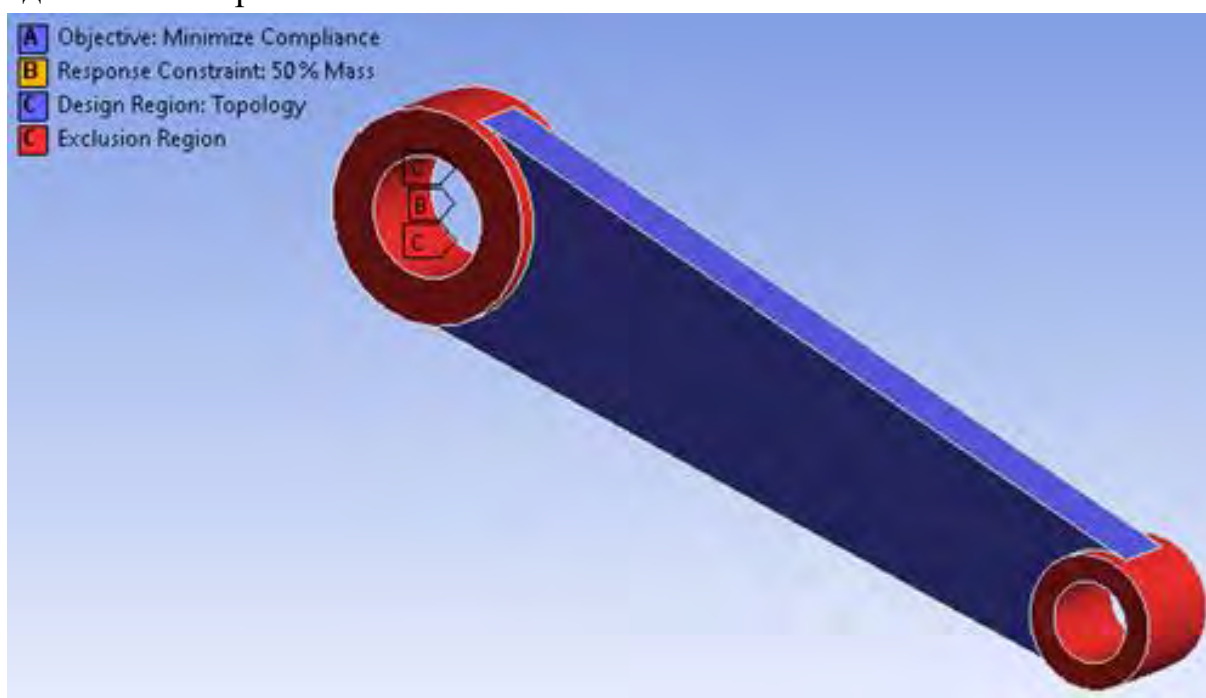


Рис. 4. Модель изделия

Результат расчёта показан на рис. 5а. Отрегулировав долю оставшейся массы (0,36) получили результат, представленный на рис. 5.б. В свойствах результата отражена масса конечного изделия – 3,397 кг.

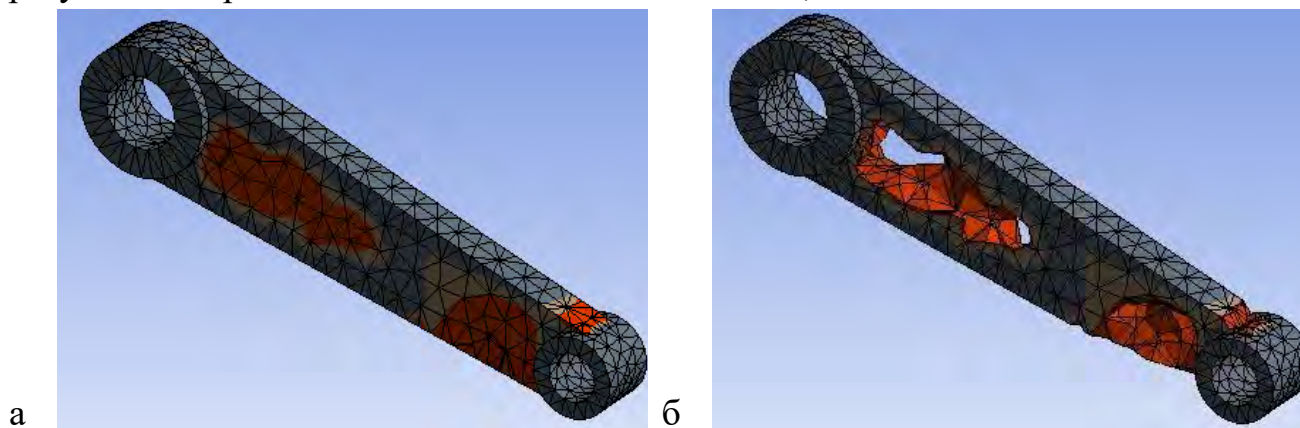


Рис. 5. Результат топологической оптимизации

Проверка полученной конструкции (верификация).

При подготовке к верификационному расчёту результат топологической оптимизации обязательно редактируется. Для этого использовался встроенный 3D-редактор SpaceClaim. Конструкция готовится к изготовлению с применением аддитивных технологий (см. рис. 6).

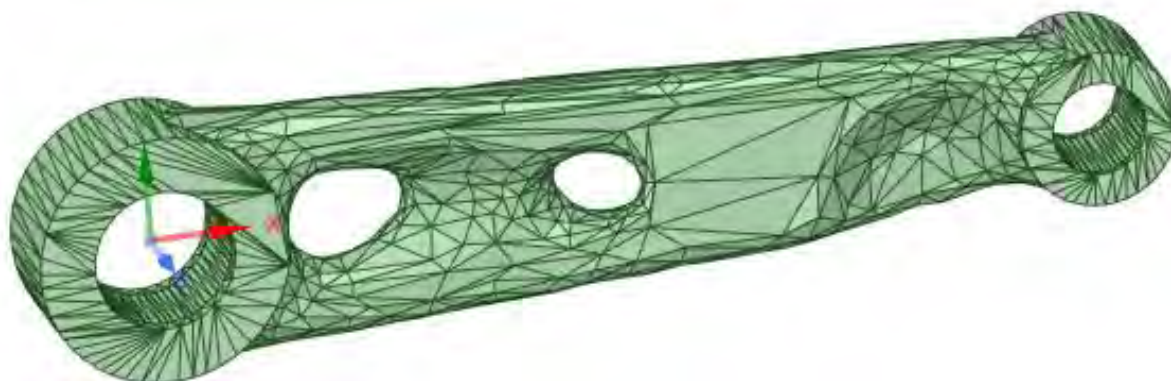


Рис. 6. Подготовленная деталь

Результат оценки напряжений в режиме статической нагрузки показан на рис. 7.

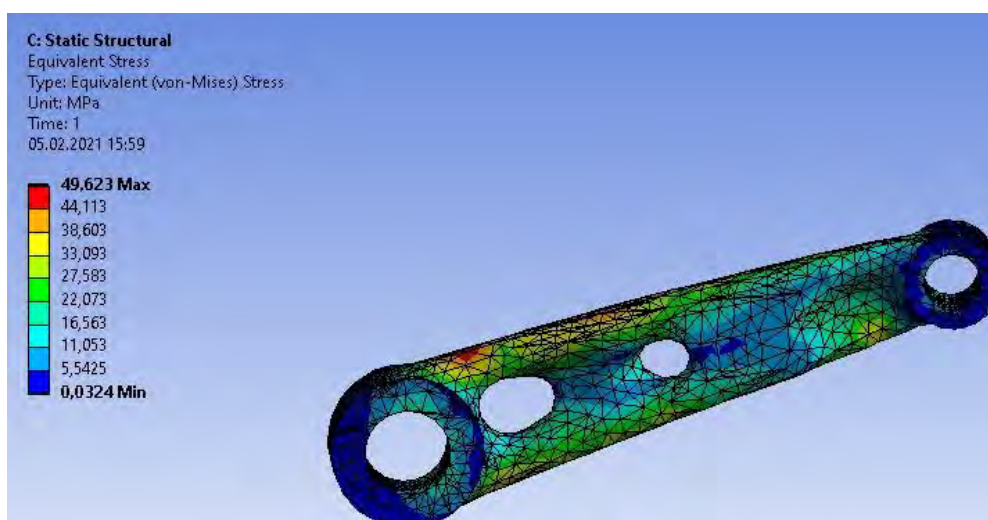


Рис. 7. Результат анализа статической нагрузки на итоговой детали

Выводы.

1. Процедура топологической оптимизации с использованием программы ANSYS с учётом расширения использования аддитивных производств показала реальность существенного уменьшения массы традиционных металлоконструкций.

2. Отработанная методика может применяться для решения подобных задач в области проектирования машин лесного комплекса.

3. Существенный эффект применения средств автоматизации инженерного труда требует расширения применения методов топологической оптимизации при подготовке специалистов отрасли.

Библиографический список

1. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учебное пособие/ В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов – Самар. гос. техн. Ун-т, 2010. – 271 с.

Сведения об авторах

ФИО	Шевнин Иван Николаевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vann444@list.ru
ФИО	Трофимов Александр Викторович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	agregat9@yandex.ru

Аннотация

В работе рассмотрена методика топологической оптимизации конструкции с применением программного пакета ANSYS. Область применения ориентирована как на традиционные, так и перспективные технологии изготовления.

Ключевые слова: лесная машина, топологическая оптимизация, ANSYS, метод конечных элементов.

УДК 621.002 (075.8)

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.01.77

Использование параметризации при создании твердотельной геометрической модели на базе программы «КОМПАС-3D»

Тюрина М.С., Трофимов А.В., Зверев И.А.

Введение. Параметризация – моделирование (проектирование) с использованием назначенных параметров элементов модели и соотношений между этими параметрами. Технология позволяет создавать модели типовых изделий на основе однажды спроектированного прототипа, что существенно сокращает затраты ресурсов в области проектирования, изготовления и

модернизации конструкции. Конструктор создаёт модель объекта с параметрами, при изменении которых происходят изменения её конфигурации, взаимных перемещений деталей в сборке и т.п.

Сегодня на рынке доступно множество программ, использующих рассматриваемую технологию – CATIA, NX (Unigraphics), T-FLEX. Наибольшую популярность приобрела программа «Компас-3D», имеющая параметрический режим, который включен по умолчанию при выполнении 3D моделирования [1].

Несмотря на явные достоинства технологии многие авторы отмечают, что «...ускорение черчения за счет компьютеризации не приносит сколько-нибудь заметного сокращения сроков выпуска изделия». Одна из причин ситуации – недостатки в подготовке специалистов отрасли в области использования преимуществ компьютерных технологий и в частности технологий применения отечественных программ среднего класса.

Цель исследования – предложить методики формирования навыков работы в области создания параметрических твёрдотельных моделей объектов лесного машиностроения на базе программного продукта «КОМПАС-3D» [2].

Программа «КОМПАС-3D» предназначена для создания трехмерных ассоциативных моделей отдельных деталей и сборочных единиц, содержащих как оригинальные, так и стандартизованные конструктивные элементы. Многочисленные сервисные функции облегчают решение вспомогательных задач проектирования и обслуживания производства. Геометрическая параметризация не противоречит возможностям других методов – табличной, иерархической, вариационной технологии.

Предмет исследования. Процесс создания параметрической твёрдотельной модели к которой применяются все основные свойства софта.

Предложенная методика включает следующие этапы:

- составление плана построения модели;
- ввод переменных;
- графическое задание последовательности команд и их параметризация;
- проверка корректности работы модели.

При создании параметрической модели рекомендуется придерживаться определенных правил и последовательности действий, для того чтобы достигнуть желаемого результата с максимальной эффективностью [3].

Создание конкретной модели. Все команды, которые использовались при создании модели, документируются, следовательно, если какой-либо объект был создан ошибочно и затем удален, то все относящиеся к этому процессу команды войдут в список. Модель получится явно неоптимальной.

В качестве начальной рекомендуется использовать точку с координатами (0, 0). Выражения, описывающие те или иные параметры объектов, при таком выборе, получаются более компактными. Каждую команду сразу же после ее выполнения параметризуют.

Сразу после того, как был создан какой-либо объект модели, нужно, не создавая другой объект, поставить в соответствии с его параметрами выражение, состоящее из переменных. При этом, появляется возможность визуально убедиться в том, что объект создан корректно.

Если создать сразу несколько объектов, а потом приступить к процедуре их параметризации, то найти ошибку будет значительно сложнее. Исключение из правила может быть сделано при последовательном построении цепочки объектов, например, отрезков, у которых начало каждого последующего отрезка совпадает с окончанием предыдущего.

Результаты. Методика иллюстрируется доступными для восприятия объектами. Например – деталь «Планка с отверстиями» (см. рис. 1).

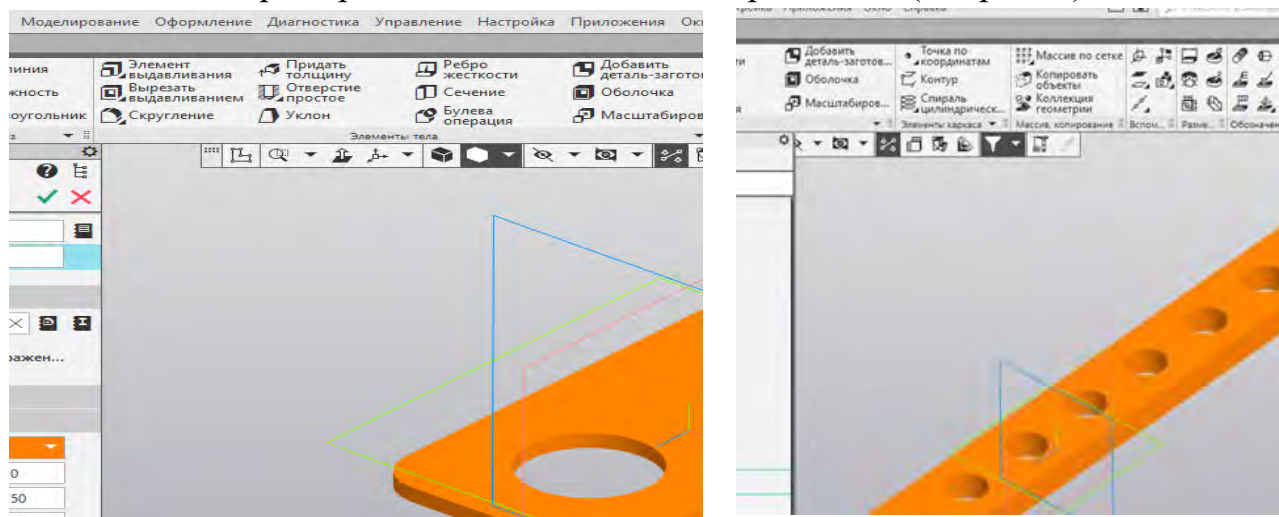


Рис. 1. Вариации параметрической модели «Планка с отверстиями»

Модель может содержать (n) отверстий диаметром (d), равномерно расположенных по длине изделия. Длина (l) и ширина полосы (b) зависят от количества отверстий и их диаметра, которые являются независимыми переменными, а длина (l) и ширина полосы (b) – зависимыми. При построении модели выполняется параметризация объекта с помощью настроек системы. Отношения и ограничения, используемые для создания элементов изделия, фиксируются и контролируются программой. Информативность и доступность методики успешно протестирована в учебном процессе.

Заключение.

Трёхмерное параметрическое твердотельное моделирование является эффективным (и более сложным) инструментом компьютерных технологий. Область применения – все этапы жизненного цикла изделия.

Предложенная методика может применяться для решения подобных задач в области проектирования машин лесного комплекса.

1. Существенный эффект применения средств автоматизации инженерного труда требует расширения применения методов параметризации при подготовке специалистов отрасли.

Библиографический список

1. Будущее параметрического CAD'а. — URL: <https://habrahabr.ru/company/cloudinvent/blog/245835>. — (дата обращения: 21.03.2021).
2. Компас – 3D V16. Инструмент создателя. — URL: <http://kompas.ru>. — (дата обращения: 21.03.2021).
3. Создание параметрической модели в редакторе APMGRAPH. —URL: <https://books.ifmo.ru/file/pdf/1155.pdf>. — (дата обращения: 20.03.2021).

Сведения об авторах

ФИО	Тюрина Мария Сергеевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6582-0730
e-mail	turinamaria2017@yandex.ru
ФИО	Трофимов Александр Викторович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	agregat9@yandex.ru
ФИО	Зверев Игорь Андреевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	igorzv1997@gmail.com

Аннотация

Проведен анализ параметрической технологии в программе «КОМПАС-3D» и ее влияния на производительность создания геометрических моделей на однотипной основе.

Ключевые слова: «КОМПАС-3D», параметрическая модель, технология.

УДК 621.002 (075.8)

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.01.77

Роль и задачи дилерских организаций в системе технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной техники

**Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В.,
Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Третьякова Е.Ю., Демиденко В.А.**

Введение. Связующим звеном системы организации фирменного (сервисного) ремонта являются дилерские организации. Дилер – предприниматель, занимающийся продажей транспортной и другой техники, пользующейся массовым спросом (автомобилей, тракторов, лесных машин и др.) В отличие от продавца в магазине [11], который является просто доверенным лицом хозяина, дилер выступает как собственник, то есть приобретает технику у фирмы-производителя техники, а затем продает ее индивидуальному покупателю [1].

Дилер, в соответствии с заключенным договором с фирмой-изготовителем техники обеспечивает продажу техники с необходимым сервисом, ведет ремонты, снабжает запасными частями, а также предоставляет технику в аренду, обучает кадры и др. [5]. Эти цели и задачи являются приоритетными, хотя общие правила общения дилера с покупателем видоизменяются с характером продаваемой техники и особенностями рынка.

Стремление фирмы-изготовителя техники добиться того, чтобы их техника получала сервис наиболее выгодным для покупателей образом, но с минимумом расходов на организацию собственной дилерской сети. Генеральный агент (фирма) снабжает дилеров нестандартным оборудованием и инструментами [2], нужными для обеспечения сервиса машин. Помогает организовать передвижные ремонтные мастерские, обеспечивает централизованный ремонт наиболее сложных и дорогих узлов, которые невыгодно (а без специальной оснастки порою и невозможно) ремонтировать у дилеров [17].

Задачи дилерских организаций: продажа техники, оказание услуг доставки техники, наличие средств транспортирования машин на различные расстояния, проведение погрузочно-разгрузочных работ, организация хранения техники, организация демонстрационных площадок, проведение маркетинговых исследований, торговля запасными частями [15].

Цены на запасные части выше, чем на детали, идущие на сборку новых машин, что определяется необходимостью повышенных расходов на производство мелких партии деталей к старым машинам, издержками на их

длительное хранение [9]. Запасные части поставляются по всей номенклатуре машин, по которым у дилера с изготовителем заключены контракты [6].

Здесь хотелось бы остановиться на том, что дилер гарантирует комплект запчастей к реализуемой технике, обязуется поставить на заказ нужную деталь в течение договорного времени потребителям [3], которые эксплуатируют технику, приобретённую у этого дилера, дилер может и предлагать услуги складирования и доставки запасных частей (создаётся обменный ремонтный фонд) [13].

Маркетинг – это понятие, выражающее определённые принципы работы, описывает деятельность фирмы, заинтересованной в успешном продвижении в области продажи техники [4].

Экономический смысл использования маркетинга состоит в ускорении отдачи производственных фондов предприятий, повышении мобильности производства и уровня конкурентной способности товаров, своевременном создании новых товаров и ускорении их продвижения не просто на внешние рынки, а на те из них, на которых может быть достигнут максимальный коммерческий эффект [16]. Именно поэтому маркетинг, как совокупность сложившихся в мировой практике методов изучения рынков, выявление новых потребностей и меняющихся предпочтений покупателей, методов создания эффективных каналов реализации товаров и услуг, проведения комплексных рекламных кампаний с системой соответствующих организационных служб и методов управления на фирмах представляет несомненный практический интерес [14].

В чём состоят основные принципы маркетинга?

В основе деятельности дилера, работающего на основе принципов маркетинга, лежит девиз: продавать только то, что требует рынок, покупатель, исходным моментом, лежащим в основе маркетинга, выступает идея человеческих нужд, потребностей, запросов [8]. Отсюда сущность маркетинга предельно коротко состоит в следующем: следует продавать только то, что безусловно найдёт сбыт, а не пытаться навязывать покупателю (не согласованную предварительно с рынком продукцию).

В послегарантийный период фирма-производитель оборудования, машин у, ведёт плано-предупредительные (в последнее время всё чаще по текущему состоянию), ремонты, капитальный ремонт, снабжает запасными частями, даёт консультации по наиболее эффективной эксплуатации машины, модернизирует её, обучает персонал покупателя [12]. Все эти работы производятся на основании заключённого договора по согласованности, выполнение которого выгодно обеим сторонам, так как сокращаются простои оборудования, возрастает срок между капитальными ремонтами, снижается брак, повышается

безопасность эксплуатации техники [10]. Все это поднимает престиж фирмы-производителя, позволяет ссылаться в рекламе на совершенно реальные примеры высококачественной работы, а продавцу приносит несомненные выгоды, так как усиливает его позицию надёжного поставщика по отношению к покупателям его продукции [11, 12].

Как бы ни были совершенны новые машины, они в процессе эксплуатации обязательно подвергаются определённым ремонтно-обслуживающим воздействиям. Это положение имеет научное обоснование и подтверждается практическим опытом.

Попытки создать так называемые равноресурсные конструкции машин, составные части которых одновременно превращались бы в лом, не могут увенчаться успехом из-за случайных сочетаний характера условий эксплуатации, по-разному воздействующих на составные элементы машин, таким образом, техническое обслуживание и ремонт (это важнейшие ресурсосберегающие мероприятия, предусмотренные конструкциями современных машин. В практике торговых организаций используют различные методы осуществления сервиса, в том числе с привлечением: агентов (дилеров), продающих данные товары (это принято, например, в торговле автомашинами, тракторами и сельскохозяйственной техникой; логично сюда же поместить лесные машины) [7].

Однако во всех случаях фирма-производитель техники несёт полную ответственность за результаты сервиса и оказывает должную помощь своим агентам, которым переданы сервисные функции полностью или частично.

В обязанности работников службы сервиса входит также обеспечение покупателей документацией на проданную технику (инструкции по эксплуатации, техобслуживанию, перечни запасных частей, каталоги дополнительного оборудования и т. д.) [11].

Одно из быстро развивающихся направлений сервиса (диагностика состояния сложной техники с помощью специальной аппаратуры. При обслуживании автомобилей, например, данная аппаратура позволяет сократить время проверки тормозов на 35%, амортизаторов – на 50%, электрооборудования – на 62%, спидометра – на 80%, цилиндров двигателя – на 87%. Исключительно эффективным методом диагностирования является проверка масла из картера двигателя, коробки переменных передач и других агрегатов авто-мототехники и т.д. В слитом масле всегда обнаруживаются следы металла и пыли и с помощью спектрографа можно различить до 20 их видов при концентрации в несколько десятитысячных долей процента. Другие методы позволяют обнаруживать в масле воду, проверить изменение физико-химических свойств масла [1].

Присутствие кремния говорит о плохой работе воздушных фильтров, подсосывании наружного воздуха через не плотности и щели во впускных коллекторах. Железо свидетельствует об износе зубчатых колёс, деталей газораспределительного механизма, алюминий (о пригорании поршней, задирах на зеркале поршня), хром (об износе поршневых колец) и т. д. [7].

Считается, что техническая диагностика намного эффективнее плановых осмотров и ремонтов, так как работы ведутся только по потребности и только в случае аномальных отклонений [2].

По технологическим признакам стационарные посты ТО и ТР обычно подразделяются на следующие основные группы, которые обеспечивают уборочно-моечные и очистные работы; подъёмно-транспортные операции; заправочные; смазочные работы, диагностику технического состояния машин и агрегатов; контрольно-регулирующие работы; разборочно-сборочные и сварочные операции [9].

Заключение

Направленность предприятия не на сиюминутный, а на долговременный результат маркетинговой работы требует особого внимания к прогнозным исследованиям, разработки на основе их результатов товаров рыночной новизны (связь с производителем техники), обеспечивающих высоко прибыльную хозяйственную деятельность [1, 11, 12].

Библиографический список

1. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – С. 281-287.
2. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
3. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
4. Михайлов О.А. Методика определения оптимального передаточного ряда гидромеханической трансмиссии / Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Спиридонов С.В., Козьмин С.Ф., Пушков Ю.Л. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – С. 42-47.
5. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
6. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном

- комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
7. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – С. 370-372.
 8. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
 9. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
 10. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниханов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
 11. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
 12. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
 13. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – С. 287-292.
 14. Dobretsov R.Y. Power distribution mechanism for the transmission of forest tracked and wheeled vehicles / Dobretsov R.Y., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Andronov A.V. // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42046.
 15. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
 16. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
 17. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	ketro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru

ФИО	Третьякова Е.Ю.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Демиденко В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	zombieeatmybrain@yandex.ru

Аннотация

В статье проанализирована роль дилерских организаций как посредников между заводом изготовителем лесозаготовительной техники и ремонтными предприятиями лесозаготовительной отрасли. Определена экономическая целесообразность дилерских организаций, как связующего звена, между заводом изготовителем и службами технического обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: дилерская организация, техническое обслуживание, лесозаготовительное предприятие, ремонт, экономическая эффективность, маркетинг.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Основные принципы фирменного ремонта лесозаготовительной техники и оборудования отрасли

**Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Иванова И.В.,
Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Чураков А.В., Давыденко С.В.**

Введение. Фирменный технический сервис (ремонт) – это технический сервис (ремонт), в выполнении которого участвует изготовитель машин и/или технологического оборудования, для обеспечения наибольшего экономического эффекта лесопромышленнику (потребителю) от их применения [11].

Одной из важнейших задач совершенствования системы технического обслуживания и ремонта является задача организации фирменной системы

ремонта машин, которая должна базироваться на сети фирменных ремонтных предприятий заводов-изготовителей. Базой такой сети является, в первую очередь, дилерские организации, созданные заводом-изготовителем техники, главным образом на основе сохранившихся звеньев ремонтно-обслуживающей системы лесопромышленного комплекса, и другие сервисные предприятия и организации [8].

Отношения между ними и заводами-изготовителями техники строятся на законодательной или договорной основе с предоставлением в необходимых случаях статуса фирменных организаций [15].

Такая система обеспечивает единообразие применяемой организациями документации, технологии, оборудования, инструмента, средств контроля и диагностики в сочетании с льготными условиями получения комплектной техники, запасных частей, обменного фонда агрегатов и т.п. Завод-изготовитель техники контролирует качество работы фирменных сервисных предприятий и несет за это ответственность [10].

Фирменная система ремонта позволяет обеспечить улучшение качество гарантированного обслуживания и ремонта лесных машин, бесперебойное обеспечение потребителей запасными частями (в том числе, комплектующими изделиями), а также проведения сложных видов технического обслуживания, диагностики и ремонта в послегарантийный период по заявкам потребителей [1].

Эта система выполняет функции по продаже отдельных видов и комплектов техники, как новой, так и подержанной [2]. Функционирование систем фирменного ремонта (сервиса) должно полностью обеспечивать выполнение необходимых потребителям платных услуг по поддержанию исправного или работоспособного состояний техники [2, 3].

Технический сервис – это комплекс услуг по обеспечению лесопромышленника машинами, эффективному использованию и поддержанию ее в исправном состоянии, включая утилизацию.

Для реализации принципов фирменного сбыта и технического сервиса создаются:

- **головные** (заводские или корпоративно интегрированные отраслевые) службы фирменной продажи и обслуживания техники, а также межрегиональные (межобластные) представительства заводов, имеющие в своем составе крупные склады запасных частей [9];
- **региональные** фирменные технические центры (крупных дилеров) в зонах концентрации основной части парка техники, осуществляющие предпродажную подготовку, продажу машин и их комплексов или отдельных элементов шлейфа машин, доставку техники потребителям,

гарантийное обслуживание, обеспечение запасными частями, покупку и продажу подержанной техники, в том числе после капитального ремонта (вторичный рынок), представление техники в прокат и аренду, изучение спроса, рекламные и информационно-консультативные функции [5]. Для повышения оперативности обслуживания потребителей могут создаваться районные (межрайонные) филиалы региональных технических центров;

- **районные дилеры**, работающих во взаимодействии с региональным техническим центром [17].

В настоящее время начата поставка потребителю тракторов и другой сложной техники для ЛПК через фирменные технические центры или районных дилеров [4].

Наряду с формированием сети фирменных технических центров изготовители полнокомплектных машин, сложных агрегатов и узлов участвуют в создании преимущественно на базе имеющихся ремонтно-обслуживающих предприятий ЛПК: **фирменных ремонтных предприятий**, осуществляющих капитальный (восстановительный) ремонт двигателей, топливной аппаратуры, турбокомпрессоров, агрегатов гидросистем, электро- и электронного оборудования и т. п., а в отдельных случаях и полнокомплектных машин [7]. Это особенно важно в ближайшие годы, когда будет продолжаться эксплуатация машин за пределами нормативного срока службы из-за невозможности быстрого обновления парка [12].

Изготовители полнокомплектных машин и сложных агрегатов (узлов) должны обеспечить свои технические центры и фирменные ремонтные предприятия эксплуатационной и ремонтной документацией [13], осуществлять подготовку и повышение квалификации специалистов этих предприятий, а также оказывать им необходимую помощь в технологическом оснащении специальным оборудованием, приспособлениями, оснасткой и инструментом, в использовании элементов заводской технологии [6]. Заводы-изготовители или интегрирующая их структура должны также содействовать оснащению указанных центров и предприятий универсальным оборудованием для технического обслуживания, диагностирования и ремонта сложных машин и их основных агрегатов (в первую очередь – контрольно-испытательным оборудованием).

Создание фирменной системы не исключает альтернативного существования конкурирующих магазинов (баз) по продаже техники и запасных частей, ремонтных предприятий, сервисных и снабженческих организаций и др. Однако деятельность по выполнению сложных видов ремонтных работ и сервиса должна лицензироваться (сертифицироваться) в установленном порядке [14].

По данным Минсельхозпрода России реформирование технического сервиса в АПК с участием предприятий тракторного и лесного машиностроения позволит сократить простой техники на 20%, значительно повысить качество сервисных работ и довести готовность парка тракторов до 94% в 2022 г. против 46-59% в настоящее время. Очевидно, что применение фирменного обслуживания в ЛПК также даст положительные результаты [16].

Для успешной деятельности дилерских предприятий необходимо создание благоприятных условий, в том числе: включение их, наряду с машиностроительными заводами, в перечень предприятий, кредитуемых на льготных условиях; распространение на них финансовых льгот, которыми пользуются товаропроизводители; льготное налогообложение.

Другой задачей совершенствования системы технического обслуживания и ремонта является задача перевода производителей к фирменной системе жизнеобеспечения и выполнения работ по всем элементам жизненного цикла машины соответствии со стандартами серии ISO 9000 [11].

Фирменная система жизнеобеспечения считается сейчас наиболее прогрессивной системой, позволяющей максимально использовать все рычаги для повышения эффективности работы машины, начиная от проектирования и заканчивая ее утилизацией [2].

В этом случае эффективность использования машины обеспечивается за счет построения и реализации единой идеологии фирмы изготовителя техники при общей координации и контроле за качеством машин со стороны государства [11].

Фирменная система позволяет оптимизировать систему жизнеобеспечения и правильно распределить средства для оптимального развития инфраструктур производства машин, запасных частей и ремонтно-обслуживающей базы на уровне фирмы-производителя. Не случайно, что именно такой вариант системы жизнеобеспечения, сложившейся в конце XIX – начале XX столетия на базе станкостроения, является сейчас наиболее распространенным при производстве и использовании сложной техники в странах с развитой экономикой. Большинство фирм-производителей станков и мобильной техники используют фирменную систему жизнеобеспечения при проектировании, производстве и обслуживании своей продукции [1].

При этом производитель имеет возможность обеспечить минимизацию средств на проведение работ для всех элементов системы жизнеобеспечения на высоком уровне при максимальном эффекте от использования машины, обеспечивая машине высокие показатели надежности и оптимальные сроки службы, а потребителю - минимальные затраты на производство продукции.

Использование фирменной системы жизнеобеспечения машин предполагает не только разработку документации и создание сети ремонтно-обслуживающих предприятий, но и оснащение этих предприятий ремонтно-технологическим оборудованием, оснасткой и ремонтной документацией для качественного выполнения обслуживания и ремонта. Причем разработку этого оборудования осуществляет либо сам производитель машин, либо при его непосредственном участии [14].

Фирменная система должна базироваться на сети фирменных ремонтных предприятий заводов-изготовителей. Базой такой сети должны стать в первую очередь дилерские организации, созданные заводом-изготовителем главным образом на основе сохранившихся звеньев ремонтно-обслуживающей системы ЛПК, и другие сервисные предприятия и организации [15]. Отношения между ними и заводами-изготовителями техники должны строиться на законодательной или договорной основе с предоставлением в необходимых случаях статуса фирменных организаций.

Такой статус должен обеспечивать единообразие применяемых сервисными организациями документации, технологии, оборудования, инструмента, средств контроля и диагностики в сочетании с льготными условиями получения комплектной техники, запасных частей, обменного фонда агрегатов и т. п. Завод-изготовитель должен контролировать качество работы фирменных сервисных предприятий и нести за это ответственность.

Наряду с формированием сети фирменных технических центров изготовители полнокомплектных машин, сложных агрегатов и узлов участвуют в создании преимущественно на базе имеющихся ремонтно-обслуживающих предприятий лесопромышленного комплекса [16]: фирменных ремонтных предприятий, производящих капитальный ремонт двигателей, топливной аппаратуры, турбокомпрессоров, агрегатов гидросистем, электро- и электронного оборудования и т.п., в отдельных случаях полнокомплектных машин. Это особенно важно в настоящее время, когда будет продолжаться эксплуатация машин за пределами нормативного срока службы из-за невозможности быстрого обновления парка лесных машин [17].

Изготовители полнокомплектных машин и сложных агрегатов (узлов) должны обеспечить свои технические центры и фирменные ремонтные предприятия эксплуатационной и ремонтной документацией, осуществлять подготовку и повышение квалификации специалистов этих предприятий, а также оказывать им необходимую помощь в технологическом оснащении специальным оборудованием, приспособлениями, оснасткой и инструментом, в использовании элементов заводской технологии. Заводы-изготовители или интегрирующая их структура должны также содействовать оснащению

указанных центров и предприятий универсальным оборудованием для технического обслуживания, диагностирования и ремонта сложных машин и их основных агрегатов (в первую очередь – контрольно-испытательным оборудованием) [14].

На современном этапе развития рыночных отношений машиностроительные заводы не располагают реальными материальными и трудовыми ресурсами для того, чтобы взять на себя в полном объеме обслуживание и ремонт выпускаемых ими машин. Минимизируя затраты на производство, заводы стремятся по возможности уменьшить объем своих обязательств перед покупателями, Этому способствует отсутствие нормативно-законодательной базы и экономической заинтересованности у производителя расширять эту сферу деятельности. Организационно-экономические формы фирменного ремонта, несмотря на его бесспорные преимущества, требуют глубокого изучения, обоснования и привязки к условиям текущего момента [17.

Заключение

Создание фирменной системы не исключает альтернативного существования конкурирующих магазинов (баз) по продаже техники и запасных частей, ремонтных предприятий, сервисных и снабженческих организаций и др. [1, 11]. Однако деятельность по выполнению сложных видов ремонтных работ и сервиса должна лицензироваться (сертифицироваться) в установленном порядке.

Библиографический список

1. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – С. 281-287.
2. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
3. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
4. Михайлов О.А. Методика определения оптимального передаточного ряда гидромеханической трансмиссии / Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Спиридонов С.В., Козьмин С.Ф., Пушков Ю.Л. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – С. 42-47.
5. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С, Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.

6. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
7. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – С. 370-372.
8. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
9. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
10. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниханов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
11. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
12. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
13. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – С. 287-292.
14. Dobretsov R.Y. Power distribution mechanism for the transmission of forest tracked and wheeled vehicles / Dobretsov R.Y., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Andronov A.V. // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42046.
15. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
16. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
17. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru

ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Давыденко С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	davydenko.sergey00@icloud.com

Аннотация

В статье рассмотрены основные задачи совершенствования сервиса технического обслуживания и ремонта лесозаготовительной техники с применением фирменного обслуживания и ремонта. Определена роль фирменного сервиса и его взаимосвязь с ремонтными службами лесозаготовительных предприятий.

Ключевые слова: фирменная система обслуживания, техническое обслуживание, ремонтные предприятия, заводы – изготовители, ремонт, нормативно-техническая база.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Перспективы использования щелочной активации шламогрунтов для повышения их прочностных характеристик

Зубова О.В., Силецкий В.В., Воронин С.Е.

Введение. Повышение рентабельности строительства лесных дорог один из наиболее актуальных вопросов, стоящих перед лесной отраслью. Высокие цены на логистику, а также строительные материалы не позволяют расширять лесную инфраструктуру в полной мере.

Снижение стоимости дорожно-строительного материала позволит значительно повысить рентабельность дороги. Достигнуть поставленной цели возможно путем использования вторичных продуктов, имеющих низкую

себестоимость, заключающуюся в основном в логистике материала. Одним из таких отходов промышленности является нефелиновый шлам.

На сегодняшний день проведено немало исследований по изучению свойств нефелинового шлама с различными заполнителями и другими минеральными вяжущими. По анализу проделанных работ с нефелиновым шламом [1, 2, 3], можно сделать следующие выводы о том, что НФШ может выступать в роли:

- самостоятельного минерального вяжущего в смесях с суглинистыми грунтами;
- комплексного минерального вяжущего;
- активного заполнителя.

Наиболее рентабельным вариантом использования НФШ в лесном дорожном строительстве является вариант, где нефелиновый шлам выступает в роли самостоятельного минерального вяжущего.

В исследованиях, проведенных на кафедре Промышленного транспорта СПбГЛТУ с нефелиновым шламом как самостоятельным вяжущим, видно, что нефелиновый шлам как самостоятельное минеральное вяжущее является медленно твердеющим материалом и основную прочность начинает набирать после 1 года структурообразования. Одним из эффективных решений данной проблемы является использование цемента или извести в малых дозировках как активатора вяжущих свойств нефелинового шлама. Данный метод имеет ряд существенных недостатков в смесях с различными грунтами, а также наносит дополнительный экологический вред окружающей среде за счет использования цемента или извести в смеси. Более экономичным и экологичным вариантом активации нефелинового шлама в смеси может являться щелочная активация. С целью дополнительного снижения стоимости на активацию и снижения воздействия на экологическую среду района строительства лесной дороги было проведено поисковое исследование.

Теоретические предпосылки использования щелочных активаторов.

Использование извести в исследованиях [4] с целью достижения оптимальной среды pH для полного формирования структуры материала на основе нефелинового шлама и заполнителя (грунта местного залегания), доказывают, что реакции, протекающие с известью в смесях, позволяют предположить активное взаимодействие НФШ с щелочью в составе активатор(щелочь)/НФШ/грунт, что позволит достичь высоких физико-механических характеристик, а также повысить экономические аспекты исследования. Щелочной активацией занимались такие авторы как Shahram P., Vujang K., Nuno C., Stephanie G., Amandio T. и т.д. Химический состав

нефелинового шлама представлен в таблице 1 [5], подобный состав позволяет предположить высокую активность активатора с нефелиновым шламом.

Таблица 1. Химический состав нефелинового шлама

Наименование компонента	Содержание, %
SiO ₂	29,96
CaO	54,86
Al ₂ O ₃	3,4
Fe ₂ O ₃	3,83
Na ₂ O	1,4
K ₂ O	0,4
MgO	1,4
SO ₃	0,18
Cl	0,02
F	0,27
Прочие соединения	0,49

В трудах [6] было описано использование гидроксида натрия в смеси с летучей золой со следующими концентрациями – 10, 12,5 и 15 моль. Использование щелочного активатора в данном исследовании позволило существенно увеличить физико-механические характеристики исследуемого материала. В составе нефелинового шлама присутствуют более активные элементы что позволяет уменьшить концентрацию гидроксида натрия до 5, 7,5 и 10 моль. Также снижение дозировок позволит избежать нарушения стабильности смеси во время структурообразования, наблюдаемое при высоких дозировках гидроксида натрия.

Одним из альтернативных решений использования гидроксида натрия является использование в качестве щелочного активатора гидроксида калия. Согласно исследованиям [7] гидроксид калия взаимодействует более активно, что позволяет не только достичь более высокой прочности, но и снижения времени структурообразования материала.

Заключение. В ходе рассмотрения материалов по тематике щелочной активации, были изучены различные щелочные материалы для активации свойств нефелинового шлама. На данном этапе было принято решение использовать гидроксид натрия и гидроксид калия в смеси нефелиновый шлам/грунт/активатор, для подтверждения теории взаимодействия активатора и нефелинового шлама с последующим образованием высокопрочной структуры исследуемого материала.

Библиографический список

1. Бескровный, В.М. Применение нефелинового шлама для строительства оснований автомобильных дорог в условиях Сибири [Текст]: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 05.23.14 / В. М. Бескровный. – Омск, 1983. – 216с.
2. Зубова О.В., Силецкий В.В., Козлов А.П., Кузнецов К.В. Исследования дорожных смесей на основе грунтов лесной зоны и нефелинового шлама с добавками минеральных вяжущих. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып.223 СПб.: СПбГЛТУ, 2018. 187-200 с. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.223.187-200.
3. Мещеряков, И. В. Применение нефелиновых шламов в дорожном строительстве/ И. В. Мещеряков. – Текст : электронный // Современные научные исследования и инновации. – 2012. – № 10. – URL: <http://web.snauka.ru/issues/2012/10/17755>. – Дата публикации: 10.2012.
4. Зубова О.В. Силецкий В.В., Куканов С.Ю., Коваленко Т.В. Increase sludge-ground and ash-ground mixtures crystal lattice strength by lowering the pH environment// IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 316 (2019) 012085// DOI: 10.1088/1755-1315/316/1/012085.
5. Заявка 2016140776 Российская Федерация, МПК C05D 3/02 (2006.01). Способ получения мелиоранта кислых почв/ Шепелев Игорь Иннокентьевич (RU), Еськова Елена Николаевна (RU), Пыжикова Наталья Ивановна (RU), и др.; Заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Красноярский государственный аграрный университет" (RU); Дата подачи заявки: 17.10.2016; Опубликовано: 06.09.2017 Бюл. № 25.
6. Nuno C., Stephanie G., Amandio T. Deep soft soil improvement by alkaline activation. Ground Improvement. Volume 164 Issue GI 2.
7. Shahram P., Bujang K. A review of alternatives traditional cementitious binders for engineering improvement of soils. International journal of Geotechnical Engineering. ISSN: 1938-6362.

Сведения об авторах

ФИО	Зубова О.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6997-4065
e-mail	Ok_z19@mail.ru
ФИО	Силецкий В.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4495-0838
e-mail	lol.spairo@yandex.ru
ФИО	Воронин С.Е.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код отсутствует
e-mail voronin.student@rambler.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрены возможности применения различных щелочей для активации и ускорения вяжущих свойств нефелинового шлама. В проведенном поисковом исследовании было теоретически подтверждено взаимодействие НФШ с такими щелочами как гидроксид натрия и гидроксид калия, в случае подтверждения в лаборатории, данные исследования позволят снизить затраты на строительство лесных дорог.

Ключевые слова: нефелиновый шлам, щелочная активация, отходы промышленности, лесные дороги.

УДК 630.383

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15

Контейнерные перевозки лесных грузов

Ермакова Е.К., Григорьев Г.В.

Введение. Лесные запасы России составляют 22% лесного покрова планеты и треть мировых запасов хвойной древесины. Лесные ресурсы занимают около 45% всей территории страны и в большей степени сосредоточены в восточных районах (Сибирь, Дальний Восток, Приуральские территории). Сейчас древесина, как никогда, востребована как экологический материал, который используется в разных целях. Потребность в деловой древесине во всем мире постоянно увеличивается. Основу удовлетворения данной потребности, в будущем, могут составить древесные ресурсы России объемом более 82 млрд. м³.

1. Экспорт лесопродукции

Основу экспорта лесопромышленной продукции составляют пиломатериалы с объемом 4,63 млрд долларов, на втором месте – бумага и картон – 2,04 млрд долларов, а также древесные плиты и фанера – 2,03 млрд долларов. Многие позиции лесопромышленной продукции растут в физических объемах. Так, за 2019 год экспорт шпона увеличился на 7,5%, специфических профилированных пиломатериалов багетов, паркетной доски и других на 9,2%, клееной фанеры – 2,5%. Экспорт пиломатериалов растет уже семь лет подряд – Россия прочно занимает второе место в мире, уступая только Канаде, причем разрыв с последней сократился за последние пять лет с 45 до 15%.

На данный момент Российская Федерация занимает третье место в мире по объёмам производства фанеры, в то же время удерживая под своим контролем около 10% общего рынка данной продукции. С января текущего года российская фанера на экспортном рынке подорожала на 3%. Лидирует КНР, удерживая более 33% экспортного рынка. Согласно информации, предоставленной Федеральной таможенной службой, в период январь-сентябрь 2020 года экспорт товарной целлюлозы из России составлял приблизительно 1697 тыс. тонн, что превышает результаты прошлого года на 11%.

На текущий момент в России действуют 65 предприятий, занятых производством фанеры. Их общая мощность равняется 4 млн. м³ продукции. Наиболее известны «Сыктывкарский фанерный завод», «СВЕЗА Кострома», «Красный якорь», «Илим Тимбер», «Муромский фанерный завод».

Главными импортёрами фанерной продукции из России являются Германия, Египет и Соединённые Штаты, куда поставляется около 18% продукции, а в Египет и Германию – 17 и 10% соответственно.

2. Перевозка лесопродукции в морских контейнерах

Лесопромышленный комплекс России имеет свою особенность – отдаленность большинства лесозаготовительных и лесоперерабатывающих предприятий от потенциальных потребителей. Важным фактором является слаборазвитая транспортная инфраструктура при огромной территории страны. Большую долю в статье расходов предприятий занимают транспортные затраты. Главным условием, определяющим возможную дальность перевозки лесоматериалов, можно назвать ассортимент и степень обработки. Чем выше качество древесины и её обработка, тем длительнее по времени и дальше в территориальном измерении может быть перевозка. К такому типу перевозок можно отнести перевозку в морских контейнерах.

Перевозка в морских контейнерах имеет несколько преимуществ:

- минимизация количества операций, которые выполняются при погрузке или же выгрузке контейнеров в судна;
- стоимость доставки невысока, что, в первую очередь, актуально для клиентов с небольшими партиями груза, поскольку сокращены расходы на логистику;
- груз находится в сохранности из-за того, что надёжно защищен металлическим корпусом контейнера;
- как правило, тара пломбируется/распечатывается только в присутствии отправителя/получателя груза;
- возможность мультимодальных перевозок. В порту прибытия контейнер с грузом просто перегружается на контейнеровоз и отправляется на склад получателя. При этом оформление новых документов не требуется;

- принятая во всем мире единая система обозначения линейных размеров и габаритов контейнеров. [1]

На сегодняшний день, при всех положительных сторонах, контейнерные перевозки пиломатериалов составляют лишь около 5 % от общего объема перевозки пиломатериалов. Это обусловлено несколькими причинами:

- *Экономическая.* Тариф на полувагонную перевозку почти на треть ниже контейнерной.
- *Техническая.* Отсутствует отработанная технология загрузки длинных (4–6 м) пакетов в контейнер. Традиционно применяется верхняя загрузка краном в полувагон.
- *Географическая.* Удаленность портов от большинства регионов, занимающихся лесозаготовками, где ограничено число порожних контейнеров для морских линий.
- *Технологическая.* Для отправки пиломатериалов по морю навалом необходимо накопить крупную партию груза в адрес одного получателя. Это не всегда возможно, что может создавать проблемы.

Кроме того, хранение груза в порту под открытым небом до накопления необходимого объема партии может привести к его порче. На период формирования партии задерживаются оборотные средства.

Однако дороговизна контейнерных перевозок относительна. Рассмотрим, например, стоимость перевозки 50 т пиломатериалов (вместимость одного полувагона или двух 40-футовых контейнеров) из Лесосибирска через Санкт-Петербург в Гамбург по трем вариантам доставки груза:

- в полувагоне до порта с дальнейшей доставкой на судне;
- с перевалкой пиломатериалов из полувагона в контейнер в припортовом регионе;
- отправку в контейнере непосредственно от отправителя.

Расчет стоимости перевозки пиломатериалов приведен в таблице 1.

Таблица 1. Сравнительный расчет стоимости перевозки пиломатериалов по вариантам (в тыс. руб.)

Схема транспортировки	Стоимость погрузки, отправки	Железнодорожный тариф	Расходы в порту	Фрахт	Итого,
Полувагон – порт – судно	14	60.01	20.85	22	125.86
Полувагон – контейнер – порт – морская линия	14	60.01	41.75	54.26	179.03
Контейнер – порт – морская линия	4	119.47	7.50	54.26	185.23

С экономической точки зрения нужно отметить, что навалочные перевозки более дорогие из-за погрузочно-разгрузочных работ. Железнодорожный тариф за последние три года вырос на 20%, а ставка собственников за аренду подвижного состава выросла более чем вдвое. А из-за дефицита подвижного состава удовлетворяется меньше половины заявок грузоотправителей. В России такие перевозки осуществляет компания «Российские железные дороги» (РЖД), которой за 2020 год было одобрено менее половины заявок, т.е. выполнена часть заказа на отправку товаров, а остальные лесоматериалы потеряли товарный вид, месяцами ожидая отправки. Из этого можно сделать вывод, что основной проблемой логистики лесной промышленности сегодня является срок доставки, то есть время, проходящее с момента подписания контракта до момента получения денег за доставленный товар, т.е. груз всё время ждёт: подвижного состава, накопления партии, судна и т.д. [2]

Заключение

При определенных недостатках контейнерные перевозки могут занять ведущую роль в перевозке лесоматериалов. Контейнер позволяет снизить экспортную (судоходную) партию с 3 тыс. м³ до 40 м³, таким образом, свести к минимуму срок накопления партии и отгружать лес в короткие сроки. Также это даёт возможность заключать прямые контракты с потребителем и увеличить стоимость товара перейдя на другие условия поставки DAP – delivered at place – поставка до пункта и DAT – delivered at terminal – поставка до терминала вместо нынешних. При этом скорость оборота денег, т.е. время от отгрузки до поступления денег от клиента, значительно сократится.

Библиографический список

3. Преимущества и особенности морских контейнерных перевозок [Электронный ресурс]: UNOTRANS групп. – URL: <https://unotrans.com/cases/stati/preimushchestva-i-osobennosti-morskih-kontejnernih-perevozk.html> – (дата обращения: 30.03.2021).
4. Ермакова Е.К. Перевозка пиломатериалов в морских конвейерах/ Ермакова Е.К.// Студенческий форум – 2021. – № 1-1 (137). – С. 74-75.

Сведения об авторах

ФИО	Ермакова Е.К.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	ermakovaalya@gmail.com

ФИО	Григорьев Г.В.
------------	----------------

Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9029-2864
e-mail	vtl-lta@mail.ru

Аннотация

В статье собран и проанализирован материал по лесопромышленному производству экспортной лесопродукции, преимуществам и недостаткам контейнерных перевозок лесных грузов. Произведен сравнительный расчёт себестоимости перевозки пиломатериалов в контейнерах по разным схемам. Сделаны выводы по современному состоянию экспорта лесных грузов в контейнерах.

Ключевые слова: контейнер, пиломатериалы, подвижной состав, судно, логистика.

УДК 656.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.77.01

Беспилотная техника для целей лесозаготовительного комплекса и мониторинга состояния водных объектов

Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Поликарпов А.О.

Введение. История беспилотной техники насчитывает свыше 100 лет и начинается в ноябре 1898 года с демонстрации в Нью-Йорке знаменитым физиком Николой Тесла двух беспилотных радиоуправляемых моделей: кораблика и летающего устройства. На беспилотное летающее устройство им в этом же году был получен патент также впервые в мире.

Он предполагал, что его работы послужат делу мира на земле, но более ста лет все разработки в области беспилотных летающих (принято сокращение БПЛА), и плавающих (БПЛА) аппаратов финансировались и принадлежали ВПК крупных военных держав. Они предназначались для выполнения стратегических транспортных задач, специальных проектов слежения и разведки.

Началом гражданского проектирования БПЛА и БППА считается 2006 год, когда ФАА США (федеральная авиационная администрация) разрешила полеты небольших пользовательских БПЛА, за которыми закрепили определения: аппарат, который удаленно управляется оператором или самостоятельно движется по заранее запланированному маршруту.

1. Внедрение БПЛА для целей лесного комплекса страны.

Появление гражданской беспилотной техники было быстро оценено и оказалось востребовано контролирующими службами лесного комплекса страны из-за огромных территории, на которых ведется лесозаготовка, сложности оценки объемов запасов древесины из-за транспортных проблем, связанных со слаборазвитой дорожной сетью, значительным количеством ежегодных лесных пожаров. Поэтому за прошедшие 15 лет БПЛА были внедрены в первую очередь в процесс контроля за противопожарной безопасностью и пресечением незаконной рубки лесов, в проведение таксации лесных массивов. [1, 2]

На втором этапе были подключены исследования, связанные с наблюдениями за процессами ледохода и ледостава на реках для оценки сроков пользования ледовыми переправами зимой и сроков снятия с плотбища и движения плотов в весенний период, а также контроля за маршрутами передвижения лесозаготовительной техники и за повреждением лесных грунтов при движении тяжелой лесозаготовительной колесной и гусеничной техники.

Для каждой отдельной задачи проведения наблюдений с помощью БПЛА, к ее использованию предъявляются специальные требования:

- невысокая себестоимость проведения работ,
- возможность дальнего и длительного перемещения,
- возможность проведения дискретных и непрерывных наблюдений.

В лесном комплексе нашли применение БПЛА группы легких, мини- и микро-БПЛА, которые обладают такими преимуществами, как:

- способностью проводить полеты в любых погодных условиях: в дождь, туман, в порывистый ветер;
- возможностью проведения наблюдений в труднодоступных для человека районах;
- сбором достоверной и регулярной информации при проведении обследования выбранной территории;
- исключение риска для жизни и здоровья человека.

В таблице 1 собраны и приведены сведения по группам отечественных микро- и мини-БПЛА, фирмы-производители и их основные технические характеристики

В соответствии с требованиями, предъявляемыми к БПЛА для работы в лесном комплексе наилучшие технические характеристики (скорость движения БПЛА, время его полета, радиус показа изображения) предлагает фирма "Беспилотные системы".

Таблица 1. Характеристики микро- и мини-БПЛА

Характеристика	Единицы измерения	Модель			
		ZALA 421-08	ZALA 421-10	T28MЭ «ЭЛЕРОН»	«ИРКУТ-3»
Масса полезной нагрузки	кг	0,3	до 1	1,5	0,5
Собственный вес		2.5	4	6.5	5
Размах крыла	м	0,81	1,6	1,47	2,0
Длина		0,425	0,62	0,45	0,9
Радиус показа изображения	км	15-30	30-40	20	25
Высота полета		5	3.6	5	0.3
Скорость	км/ч	65-130	65-120	65-105	90
Время полета	час	1.5	2	2	1.25
Стоимость	млн.руб.	3,5-4,5	6-7,5	2-2,5	4,6-5
Способ посадки		на парашюте			
Производитель: фирма/ город		Беспилотные системы/Ижевск		ЭНИКС / Казань	ИРКУТ/ Москва

2. Внедрение БПЛА для оценки состояния водных объектов.

С 2012 года началось активное восстановление процесса плотового лесосплава в регионах Северной Двины, в Ангро-Енисейском водном бассейне. К плотовым поставкам лесоматериалов вновь обратились крупнейшие лесоперерабатывающие комплексы нашей страны, такие, как ГК "ТИТАН", Группа "ИЛИМ", "СЕГЕЖА ГРУПП" с целью снижения транспортной составляющей в себестоимости поставляемого в переработку древесного сырья.

Для проведения оценки состояния водных акваторий, по которым организовано проведение плотового лесосплава, БПЛА способны решить ряд поставленных задач:

- провести сбор гидрологической информации о начале вскрытия рек, сроках прохождения паводка, расходах и скоростях течения, сроках стояния высоких горизонтов воды;
- проведения расчетов оптимальных сроков спуска элементов плота на воду и сборки плота, срока начала его движения, срока нахождения в пути;
- контроля за линией судового хода катеров сопровождения плота;
- экологического мониторинга состояния водных акваторий и береговой линии. [3]

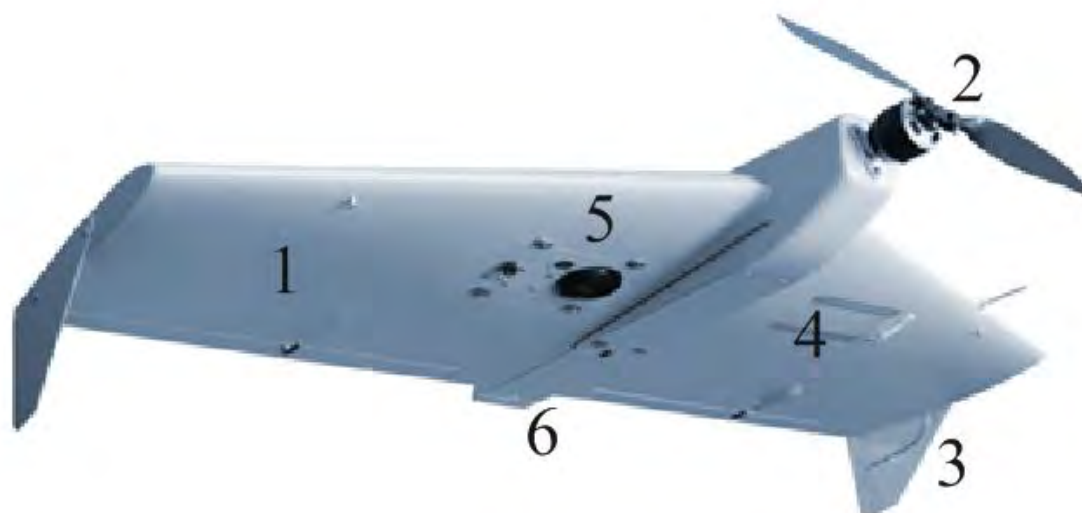


Рис. 1. Модель БПЛА ZALA 421-10: 1 – фюзеляж; 2 – воздушный винт; 3 – киль; 4 – парашютный отсек; 5 – инфракрасная камера; 6- элевон (от латинского elevator – поднимающий, подвижная хвостовая часть крыла)

В таблице 2 представлены результаты выполненных расчетов сравнения стоимости проведения работ по контролю состояния водной акватории по двум вариантам использования техники: БПЛА ZALA 421-10 и малого вертолёта Robinson R44. Результаты выполненных расчетов показывают, что беспилотная техника дает значительный выигрыш в стоимости проведения работ за счет снижения затрат по большинству показателей. В итоге 50-кратное снижение стоимости выполнения работ является лучшей рекламой для внедрения БПЛА для сбора информации на больших территориях и сложных условиях полета, не подвергая опасности жизни людей.

Таблица 2. Сравнение стоимости выполнения работ по контролю состояния водной акватории по вариантам

Характеристика	Единицы измерения	Показатели	
		Robinson R44	ZALA 421-10
Капитальные вложения в технику	млн. руб.	42.5	7.5
персонал	человек	2	1
Стоимость	топлива	280	-
	электричества	-	78
Время проведения цикла облета	часов	6	3
Стоимость ежегодного ТО	тыс.руб.	95	9.5
Базирование в месяц		64	1
Стоимость летного часа		102	5
Стоимость выполнения облета	тыс.руб.	612	12
Снижение стоимости работ	раз	-	51

Заключение.

Стаж работы гражданских БПЛА составляет всего 15 лет. За короткий срок были реализованы два направления работы этого вида техники: удаленное управление оператором из любой точки мира или самостоятельное движение по заранее запланированному человеком маршруту.

Внедрение БПЛА многократно снизило стоимость выполнения работ, полностью исключив риск для жизни и здоровья человека. Использование БПЛА позволило проводить сбор информации при любых погодных и временных условиях, а также в труднодоступных для человека районах. При этом гарантирована достоверность и оперативность поступления собранной информации. За короткий отрезок времени БПЛА были внедрены и получили высокую оценку за результаты работ по пресечению незаконных рубок лесов, в проведение таксации лесных массивов и контроля за противопожарной безопасностью лесов.

Библиографический список

1. Подрезов Ю.В. Особенности применения беспилотных летательных аппаратов для мониторинга чрезвычайных лесопожарных ситуаций / Подрезов Ю.В. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций – 2019. – № 3. – С. 64-72
2. Стариков А.В. Об использовании беспилотных летательных аппаратов в технологиях лесного хозяйства / Стариков А.В., Малышев В.В., Батулин К.В. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика – 2015. – № 5-2. – С. 121-125
3. Биненко В.И. Мониторинг рек, озер, суши на основе использования беспилотных летательных аппаратов / Биненко В.И., Иванов Р.В., Родионов В.З.// Ученые записки Российского государственного Гидрометеорологического университета – 2014. – № 34. – С. 106-114
4. Zala aerogroup беспилотные системы// каталог техники. - URL: <https://zala-aero.com>. - (дата обращения: 12.01.2021).
5. Беспилотные летательные аппараты// информационный портал - URL: <https://bp-la.ru>. - (дата обращения: 20.01.2021).

Сведения об авторах

ФИО	Григорьев Г.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9029-2864
e-mail	vtl-lta@mail.ru
ФИО	Дмитриева И.Н.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5509-6592
e-mail	in2907@mail.ru

ФИО	Поликарпов А.О.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	13roockman@gmail.com

Аннотация

В статье собран материал о появлении и развитии отрасли гражданских беспилотных летающих аппаратов, изучены технические характеристики отечественных микро- и мини- БПЛА, и фирмы-производители этого вида техники, изучены потребности отраслей лесопромышленного комплекса в беспилотной технике и предъявляемые к ней требования. Показаны преимущества использования БПЛА и возможности применения БПЛА в процесс контроля за движением плотов.

Ключевые слова: беспилотный летающий аппарат, незаконная рубка лесов, труднодоступные территории, оценка объемов запасов древесины, мониторинг движения плотов.

УДК 630.378.9

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.87

Использование гражданских беспилотных плавающих аппаратов для организации транспортировки грузов и очистки водных поверхностей

Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Поликарпов А.О.

Введение. Первый в мире беспилотный плавающий аппарат (БППА) был показан на выставке 1899 года в Нью-Йорке его изобретателем Николой Тесла. Это был кораблик, который выполнял движение по поверхности бассейна, согласно подаваемым ему радиосигналам. Тесла называл этот корабль "автоматический дьявол". Идея плавающих беспилотников была быстро оценена и получила развитие у военно-промышленных комплексов ведущих мировых держав с начала тридцатых годов прошлого века.

Развитие гражданских БППА сдерживается не только высокой стоимостной характеристикой этого вида техники, но и вопросами Морского права, т.к. судно, находящееся в открытом море без экипажа, считается бесхозным, и его может присвоить себе любой человек, поднявшийся на борт.

1. Группы современных БППА

Беспилотными плавающими аппаратами (БППА) называют водное движущееся транспортное средство, удаленно управляемое оператором или

самостоятельно движущееся по заранее запланированному маршруту. Они делятся на четыре группы: водные, палубные, гибридные и подводные.

Водные БППА представляют из себя роботов, способных самостоятельно или под управлением оператора передвигаться по воде. Они должны обладать хорошей мореходностью, умением плавать при сильном волнении моря. При работе в районах судоходства или на большом удалении от берега, необходимым условием их эксплуатации является непрерывное получение сведений о местоположении других кораблей.

Палубные БППА запускают с палубы корабля, обычно, они возвращаются туда же после выполнения задания. Но для их полетов требуется выполнение специальных условий:

- необходимость защиты электроники от агрессивной среды моря.
- обеспечение дополнительной прочности конструкции аппарата для его посадки на корабль во время качки.
- повышение точности средств посадки на палубу, находящуюся в состоянии колебательных движений.

Гибридные БППА – беспилотные аппараты, способные функционировать в нескольких средах, например, в воздухе и на воде или в воздухе и под водой. Это совершенно новые военные разработки последних пяти лет.

Подводные БППА – это автономные беспилотные корабли, предназначенные для работы под водой.

Три последних группы БППА – это стратегическая военная техника, предназначенная для решения комплекса боевых задач: разведка, поиск мин, картографирование дна, патрулирование входов в морские базы, обнаружение и сопровождение кораблей, охота на подводные лодки, дозаправка морской авиации, нанесение ударов по наземным и морским целям и др. Одним из важнейших преимуществ их использования является безопасность людей при проведении боевых операций.

Движущим фактором развития БППА являются исключение риска для жизни и здоровья человека, возможность длительного проведения работ в труднодоступных условиях и быстроту получения и передачи собранной информации, но главной выявленной проблемой является необходимость обеспечения высокого уровня кибербезопасности. [1]

2. Гражданские группы современных БППА

Возраст отрасли гражданских групп БППА не превышает 10 лет. К ним относятся представители водных и подводных БППА. На схеме рисунка 1 показаны возможности использования гражданских беспилотных аппаратов при работе водных акваториях.



Рис. 1. Возможности направлений деятельности гражданских БППА

Основная идея развития направления гражданских водных БППА - нулевые выбросы за счет внедрения "зеленой энергетики", чтобы все виды выполняемой деятельности проводились за счет солнечной, ветровой и водной энергии.

Примером БППА для проведения научных исследований является американская парусная лаборатория Saildrone, первая информация о которой появилась в 2018 году. Saildrone движется силой ветра, а вся ее электроника работает от солнечной энергии. Это позволяет лаборатории оставаться в море до 12 месяцев, собирая с помощью датчиков необходимую информацию, как показано на схеме рисунка 2.



Рис. 2. Размещение датчиков для сбора информации лабораторией Saildrone

Лаборатория оснащена системами предупреждения столкновений с судами и контролируется спутниковой связью из любой точки мира. Сегодня в мире работает свыше 20 этих исследовательских судов, которые используют в

качестве долгосрочной исследовательской платформы для работы в труднодоступных местах для передачи собранных данных в режиме реального времени, планируется за ближайшие годы довести их число до 1000. [2]

Для очистки водных акваторий от мусора предназначена группа БППА, разработку которых ведут некоммерческие экологические группы. Уже созданы и работают французские комплексы по сбору мусора SeaClear, SubSea, датский мусоросборщик WasteShark, американский ClearBlueSea.

Разработка проекта БППА ClearBlueSea была начата в 2016 году, и в настоящее время выполнена четвертая версия проекта, названная «Фред». Он предназначен для сбора пластикового мусора размером от 5 мм до 5 м с поверхности воды с предварительной сортировкой мусора по отсекам-накопителям. Энергию для движения Фреда вырабатывают четыре парусных крыла и солнечные батареи размером 450 м², расположенные на его верхней крышке для зарядки аккумулятора большой емкости. Скорость движения Фреда составляет 2 узла/час. Объемы мусоронакопителей превышают 1тыс.м³ сортированного мусора. Внешний вид Фреда и его внутреннее устройство показаны на фотографиях рисунка 3.

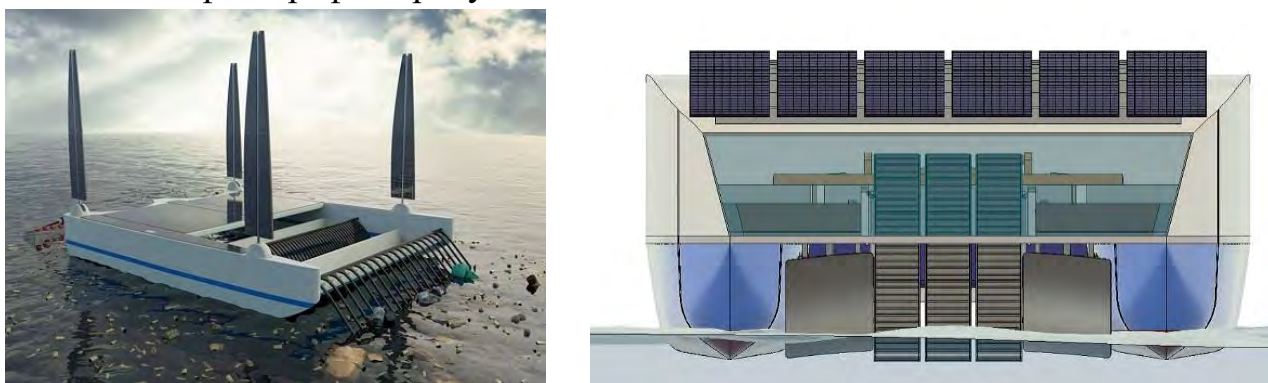


Рис. 3. БППА ClearBlueSea

WasteShark работает с 2016 года и собирает до 15.6 тонн мусора в год. Одной зарядки аккумулятора ему хватает на 8 часов работы, затем он отправляется на подзарядку и самостоятельно определяет место следующей работы в зоне скопления мусора. Дополнительно он оснащен датчиками для сбора характеристик воды. К 2021 году модель приобрели уже 5 стран.

SeaClear, SubSea Tech – это разрабатываемый на средства Евросоюза комплекс для автономной очистки акватории от мусора. В его состав входит летающий беспилотник, два ТНПА и роботизированная лодка. Комплекс с высоким уровнем автоматизации способен собирать мусор с поверхности, из толщи воды и со дна прибрежных акваторий.

3. Беспилотные морские суда

Рост объемов морских грузоперевозок, растущие экологические проблемы из-за выбросов в атмосферу отходов работы дизельных двигателей, фекальные

воды, нехватка штатов персонала, рост себестоимости грузоперевозки - этот комплекс задач могут также решить БППА. Ниже в таблице 1 приведены сведения по основным производителям беспилотных морских судов и их краткие характеристики. [3]

В 2021 году начаты испытания беспилотного буксира Hermod фирмы Rolls-Royce Marine в рамках программы "Advanced Autonomous Waterborne Applications", объединившего в 2015 году университеты, судостроительные компании, производителей оборудования и компании, работающие над созданием автономных кораблей.

Таблица 1. Характеристики беспилотных морских судов и их производители

Корпорация	Страна	РОВТ	Длина, м	Скорость, км/час	Автономность, часов	Дистанция управления, км
РОВТ Textron	США	CUSV	12	50	72	20
Israel Aerospace Industries	Израиль	Protector	12	110	100	370
ВПКБ	Беларусь	ММБК	6	100	120	360
McConaghy Boats	Китай	Adastra	42	40	200	
Rolls-Royce	Британия	ReVolt		11		180

4. Первый в мире БППА контейнеровоз

Yara Birkeland первый в мире БППА контейнеровоз с нулевыми выбросами, строительство которого завершено в 2020 году. Это электрическое автономное судно, В декабре 2020 года судно сдано заказчику и приступило к плановым рейсам, что позволило заменить 40 тыс. рейсов грузовых машин в год при соблюдении экологических норм и правил.

В роли балласта выступают электрические батареи, которые заменили балластные танки для топлива и отходов жизнедеятельности людей. Для проведения грузовых операций на контейнеровозе внедрена полностью цифровая система обработки груза, а система выгрузки и погрузки груза выполняется в автоматическом режиме. В автоматическом режиме выполняется весь маршрут движения судна, включая его швартовку у причала и отход от него. Технические характеристики БППА Yara Birkeland приведены в таблице 2.



Рис. 4. Беспилотный контейнеровоз Yara Birkeland

Для автоматической работы контейнеровоза в его работу внедрены световая система обнаружения и измерения дальности, датчики приближения, камеры для работы в дневное и ночное время. Связь и коммуникации осуществляют системы: DGPS, GSM, Maritime Broadband Radio и Satellite Communications. [4]

Таблица 2. Технические характеристики БППА Yara Birke

Характеристика		Единицы измерения	Величина
Судно проекта			MT2007
длина		м	80
ширина			15
осадка			6
скорость	экономическая	Узлы (1.852 км/час)	7
	максимальная		13
дедвейт		тонн	3200
Вместимость контейнеров		TEU	120
Емкость батарей		МВтч	7-9
носовые подруливающие устройства	число	штук	2
	мощность	кВт	700
Главные движители	число	штук	2
	мощность	кВт	1200
стоимость		млн долларов	25

Постройка БППА обошлась заказчику в три раза дороже, чем стоит корабль аналогичных размеров. Но предварительные расчеты и первые рейсы показали, что БППА экономит 90% годовых эксплуатационных расходов за счет исключения из статьи расходов затраты на топливо, экологические сборы, зарплату экипажа и отсутствия кают, камбуза и накопителя сточных вод.

Заключение. Беспилотная гражданская управляемая водная техника всех перечисленных видов способна обеспечить себе следующие преимущества:

1. Уменьшение себестоимости проведения работ за счет исключения показателя фонд заработной платы персонала. Согласно расчетам, содержание экипажа крупного грузового судна составляет 44% от объема общих расходов.
2. Возможность исключения площадей судна для проживания и работы экипажа, что увеличивает до 25% его грузовместимость.
3. Потребность места на размещение электрических батарей беспилотного судна, дополнительно увеличивает его грузовместимость, что позволяет ожидать суммарного увеличения грузовместимости БППА на треть.
4. Появляется возможность проведения одновременного контроля за движением нескольких БППА с базы, расположенной в любой точке планеты.
5. Возможность движения БППА с оптимальной топливной скоростью, при которой расход топлива на морскую милю пути будет минимальным или перевод на БППА комбинированные двигатели с солнечными батареями
6. Отсутствие экипажа – это возможность сохранить жизнь людей в сложной морской обстановке и возможность выполнения длительных маршрутов без захода судна на базу.

Библиографический список

1. Коберник И.Н., Кучер Я.В. Беспилотные суда – перспективы развития и проблемы безопасности // Актуальные вопросы проектирования, постройки, и эксплуатации морских судов и сооружений / СГУ. – Севастополь: Изд-во СГУ, 2020. - С. 37 - 50.
2. Дрономания// онлайн журнал. – URL: <https://dronomania.ru/news/saildrone-avtonomnyj-dron-dlya-slezeniya-za-sostoyaniem-planety.html>. – (дата обращения: 25.01.2021).
3. Naked science // сетевое издание – URL: <https://naked-science.ru/article/nakedscience/bespilotnyy-ocean-v-more>. – (дата обращения: 18.02.2021).
4. Титов А.В. Перспективы технологического развития и внедрения безэкипажных судов / Титов А.В., Баракат Л. // Морские интеллектуальные технологии – 2018. – № 3-1 (41). – С. 94-103.

Сведения об авторах

ФИО Григорьев Г.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9029-2864
e-mail vtl-lta@mail.ru

ФИО Дмитриева И.Н.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код 5509-6592
e-mail in2907@mail.ru

ФИО Поликарпов А.О.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail 13roockman@gmail.com

Аннотация

В статье собран материал о появлении и развитии отраслей военных и гражданских беспилотных плавающих аппаратов и их группы, показаны перспективы использования гражданских беспилотных аппаратов при работе водных акваториях по "зеленой технологии" в исследовательских, экологических и промышленных целях, показаны пути снижения себестоимости грузоперевозки.

Ключевые слова: беспилотный контейнеровоз, засоренность акватории, электрическое судно, исследовательская водная лаборатория, снижение стоимости грузоперевозки, увеличение грузового объема судна.

УДК 629.013

Разделы рубрикатора ГРНТИ 73.34.61

Влияние температурных факторов на гидрологию северных рек

Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Эполетов Д.В.

Введение. Многолетняя мерзлота (далее – ММ) занимает около двух третей поверхности территории нашей страны, достигая 90% поверхности регионов Сибири и Дальнего Востока. Наблюдаемое в последние годы активное увеличение температур воздуха, названное глобальным потеплением, вызывает таяние поверхностных слоев земли, в том числе и верхних слоев многолетней мерзлоты. Это влечет за собой изменения в привычном поведении рек в паводковый период и меняет их гидрологические характеристики, особенно в регионах многолетней мерзлоты.

Тридцать лет назад был впервые опубликован доклад МГЭИК (межправительственной группы экспертов по климату), в котором были даны оценки последствий изменения климата. Была создана международная программа мониторинга состояния многолетней мерзлоты CALM, в число ее участников входит и наша страна.

1. Процесс деградации многолетней мерзлоты и его последствия

За время наблюдений за процессами, протекающими в зонах ММ, была выявлена тенденция к увеличению скорости процесса ее деградации. Об этом говорят результаты мониторинга ММ, который в РФ проводится с 2004 года в 49 точках постоянного наблюдения.

Из доклада Росгидромета 2020 года следует, на территории России рост минимальных температур почвы достиг в арктической зоне и Забайкалье прироста за 10 лет 0,8°C, что вызывает рост площадей и глубины сезонно-талого слоя, к этому добавляется ежегодное увеличение числа осадков, которое влияет на процесс деградации ММ. [1]

В таблице 1 приведены результаты обработки материалов докладов Росгидромета за 10 лет по деградации площади ММ и представлены прогнозы интенсивного сокращения зоны ММ за счет выделения возрастающего объема парниковых газов, который приводит к повышению температуры воздуха, которое, в свою очередь, еще сильнее растапливает ММ и приводит вновь к увеличению выбросов парниковых газов. В отчетах специалистов особо указывается на необходимость обратить внимание на оттаивание поверхностного слоя ММ, содержащего в 8 раз больше углеродистых соединений, чем в атмосфере Земли, и постоянно фиксировать динамику таяния в арктической зоне, где доля углерода достигает 50% всех мировых запасов, т.е. может произойти резкое возрастание объемов выбросов парниковых газов. Это указывает на опасность ускорения развития процесса деградации ММ.

Таблица 1. Характеристики зоны ММ на территории России

Характеристика		Единицы измерения	Величина
Площадь территории по состоянию на 2020 год	РФ	млн.км ²	17.13
	ММ на территории РФ		10
	Сибири с учетом Дальнего Востока		13.1
	доля зоны ММ на территории РФ	%	58.4
	доля зоны ММ на территории Сибири		90
деградация зоны ММ	за прошедшие 50 лет до 2020 г.		9.1
	За предстоящие 30 до 2050 г.		15
содержание углерода	в атмосфере	млн. тонн	200
	в ММ		1670
	ежегодные выбросы промышленности		8
	в почве Арктики		850

Специалисты оценивают сокращение зоны ММ до 20% при росте температуры на 2°C за ближайшие 30 лет. Это в свою очередь увеличит объемы выпадения осадков на 10-15% [2]. График деградации многолетней мерзлоты на

территории РФ показан на схеме рисунка 1. Сплошной линией показаны зафиксированные явления, а пунктиром – прогнозируемые.

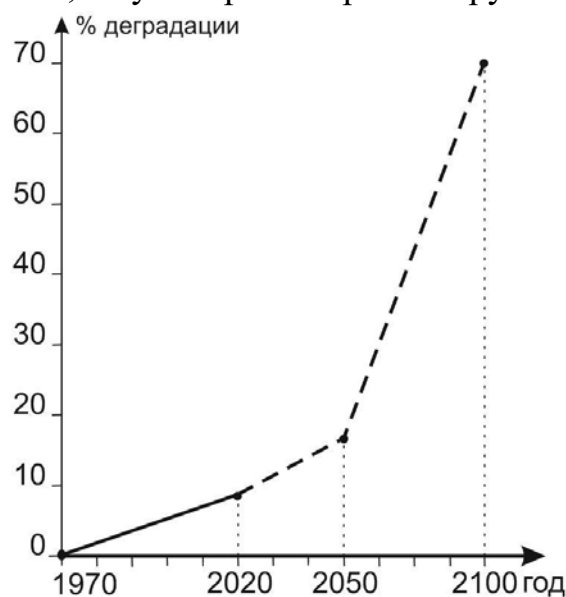


Рис. 1. График деградации ММ за период проведения наблюдений и прогноз

На основании наблюдений из космоса за ММ НАСА некоторое время назад составило компьютерную модель деградации ММ с датой ее полного исчезновения к 2300 году. Но наблюдения последних десяти лет говорят о том, что с высокой степенью вероятности процесс деградации ММ может завершиться к концу этого столетия.

На графике рисунка 2 приведены усредненные по 40 точкам наблюдений, расположенных в Арктической зоне РФ, показатели роста температуры воздуха в Арктической зоне РФ по сравнению с 2010 годом (график 1) и относительное увеличение глубины сезонно-талого слоя за этот же период времени (график 2).

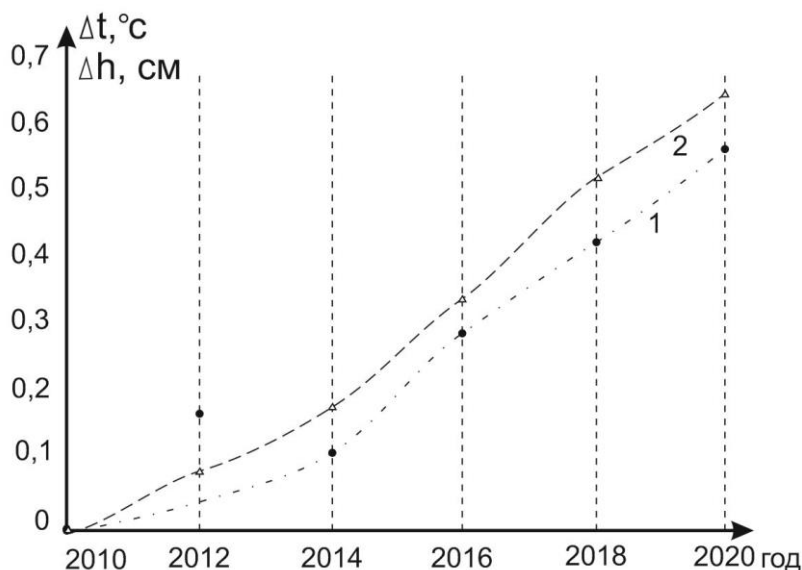


Рис. 2. Динамика роста температур и глубины сезонно-талого слоя

2. Влияние процессов деградации ММ на изменение гидрологических характеристик рек

По территории Сибири и Дальнего востока в зоне ММ протекают четыре крупнейшие реки: Енисей, Лена, Обь и Амур, характеристики которых приведены в таблице 1. Площадь их бассейнов составляет более 75% территории и 98% приходится на зону ММ. Поэтому за изменениями их гидрологических характеристик ведется постоянное наблюдение.

Таблица 2. Гидрологические характеристики крупнейших сибирских рек

Водная система Сибири	Единицы измерения	Главные реки Сибири			
		Обь	Енисей	Лена	Амур
длина	тыс. км	3.65	3.49	4.4	2.82
Площадь бассейна	тыс. км ²	2990	2580	2490	1855
В долях от площади Сибири	%	22.8	19.7	19.0	14.2
Расход в устье	тыс.м ³	12.5	19.8	16.4	11.3
Годовой сток	км ³	394	624.4	515.6	234

Рост температур воздуха в регионах их протекания приводит к изменению процессов ледообразования, росту расходов воды в паводковый период, к росту территорий подтопления и заболачивания, ускоренной эрозии берегов и развитию оползневых процессов.

Каждое из перечисленных явлений требует постоянного контроля за динамикой процесса, устранения последствий и, при необходимости, строительства защитных сооружений, а также проведения дноуглубительных и руслоочистительных работ для сохранения судоходства, как основного способа доставки грузов во время летнего завоза.

Наиболее тревожные изменения фиксируются в самом крупном по площади субъекте РФ и самой крупной административной единице в мире, Республике Саха (Якутия). Она полностью лежит в зоне ММ, занимает лидирующее положение в стране по числу рек, число которых превышает 700 тысяч и их общей протяженности - 2 млн. км, с густотой речной сети 0.5км/км². Сеть внутренних водных путей республики входит в Арктическую транспортную систему РФ, в планах развития которой на период до 2030 года предусмотрено изменение транспортных потоков в направлении к Северному Морскому Пути по водной системе региона [3]. Водная система республики Саха (Якутия) формирует основные транспортные коридоры в регионы, недоступные для автомобильного и железнодорожного транспорта, т.к. на ее организацию требуется "по данным Минтранса России, обустройство водного пути в 10 раз дешевле железнодорожного и в 20 раз автомобильного" [4].

Главной транспортной водной артерией республики является река Лена. На графике 3 показаны два гидрографа реки Лена за последние четыре года наблюдений и за 2020 год по гидропосту города Якутск.



Рис. 3. Гидрографы водомерного поста города Якутск

Сравнение их значений показывает увеличение расходов воды в паводковый период май-июнь, что подтверждается проведенными исследованиями международного коллектива специалистов Национального научно-исследовательского центра Франции, университета Аляски (США) и Института мерзлотоведения СО РАН им. академика Мельникова [5], которые установили, что на реке Лена за 40 лет произошли существенные изменения:

- рост зимней температура воздуха на 4°;
- задержку сроков образования ледяного покрова на реке;
- уменьшение толщины льда;
- задержку начала работ зимних переправ через реку;
- рост температуры воды в паводковый период на 2°;
- рост температуры пород, формирующих берега реки, на 1°;
- увеличение расхода воды в паводковый период до 7%;
- рост скоростей течения в паводковый период и, как следствие усиление процесса деформацию берегов реки.

Комиссия представила заключение о том, что "мерзлые породы речного берега оттаивают, их смывает сильным потоком во время половодья, на некоторых участках скорость отступления берегов достигает 20-40 м в год" [5].

При обрушении береговой линии, попадающие в воду песок и ил переносятся вниз по течению, образуя отмели на судоходных участках реки, что требует проведения дноуглубительных работ в зоне судового хода. Обрушение береговой линии приводит попаданию в воду значительного количества растущих деревьев и усложняет судоходство. Зафиксировано снижение в меженный период на четверть гарантированных габаритов судового хода большинства рек республики, что привело к ограничениям по допустимой

осадке судов до 25% и сократило объемы перевозимых грузов по реке за период навигации.

Заключение. Процесс деградации многолетней мерзлоты, занимающей 65% территории РФ и 90% территории Сибири оказывает заметное влияние на характеристики водных систем страны. Этот процесс находится под постоянным наблюдением крупнейшего субъекта РФ, специалистов Института мерзловедения СО РАН им. академика Мельникова Республики Саха (Якутия) на реке Лена и ее притоках. Установлены произошедшие увеличения температуры воздуха, воды и почвы, а также увеличение расхода воды и скоростей течения в реке, которые вызывают обрушение берегов и сокращение глубин судового хода, что снизило возможности грузоперевозки на четверть. Отмечено сокращение сроков работы ледовых переправ из-за снижения толщины льда и сроков ледообразования

Библиографический список

1. Доклад об особенностях климата на территории Российской Федерации за 2020г. [Электронный ресурс]: доклад НИУ Росгидромета. – - URL: http://www.meteorf.ru/upload/pdf_download/doklad_klimat2020.pdf. – - (дата обращения: 30.03.2021).
2. Джамалов Р.Г. Влияние многолетнемерзлых пород на формирование водных ресурсов Восточной Сибири на примере отдельных рек Восточной Сибири / Джамалов Р.Г., Сафронова Т.И. // Водные ресурсы – 2018. – № 4 (45). – С. 341-352.
3. Дмитриева И.Н., Григорьев Г.В., Эполетов Д.В. Влияние температурных факторов на гидрологию рек и лесные запасы Арктического региона РФ // Актуальные проблемы лесного комплекса Материалы XVIII Международной научно-технической конференции / ВГУ. - Вологда: Изд-во: ВГУ 2020. - С.132-138.
4. Дмитриева И.Н., Эполетов Д.В. Возможности увеличения грузооборота северного морского пути за счет роста грузопотока лесоматериалов через порты арктического бассейна // Актуальные проблемы лесного комплекса Материалы XVII Международной научно-технической конференции / ВГУ. - Вологда: Изд-во: ВГУ 2019. - С.167-171.
5. Анисимов О.А. Прогностическая оценка влияния деградации вечной мерзлоты на инфраструктуру в северных регионах России / Анисимов О.А., Белолуцкая М.А. // Метеорология и гидрология. - 2002. - № 6. - С. 15-22.

Сведения об авторах

ФИО	Григорьев Г.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9029-2864
e-mail	vtl-lta@mail.ru
ФИО	Дмитриева И.Н.

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5509-6592
e-mail in2907@mail.ru

ФИО Эполетов Д.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 6491-3492
e-mail d.epoletov@yandex.com

Аннотация

В статье собран и проанализирован материал об изменениях характеристик водных систем, расположенных в зоне многолетней мерзлоты, таяние и миграция которой наблюдается в условиях изменения климата. В качестве объекта изучения выбрана самая крупная административная единица в мире, Республика Саха (Якутия), полностью расположенная в зоне ММ. Изучены процессы изменения гидрологических характеристик реки Лена.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота, сезонно талый слой, парниковый эффект, эрозия берегов, потепление климата, гидрограф, толщина льда.

УДК 556.06

Разделы рубрикатора ГРНТИ 37.27.23

Ведение лесозаготовки в Арктическом регионе страны в условиях многолетней мерзлоты

Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Эполетов Д.В.

Введение. По данным Росстата на долю регионов Сибири и Дальнего Востока приходится 65% всех запасов лесов и 46% от общего объема ежегодной лесозаготовки, проводимой в нашей стране. При этом в регионах отмечается низкая интенсивность ведения лесозаготовки по сравнению даже со средними показателями по стране.

В первую очередь это связано с транспортными проблемами, дороговизной прокладки транспортных путей в зоне многолетней мерзлоты (ММ), на долю которой приходится 90% территорий. Кроме того причиной низких показателей

являются особые сложности ведения технологии лесозаготовки в регионе ММ [1].

1. Объемы и интенсивность лесозаготовки в регионах залегания многолетней мерзлоты.

Публикуемые отчеты Росстата запасах древесины в стране ежегодно ставят на первые места по этому показателю Сибирский ФО с лидером Красноярским краем (14% общих запасов лесов) и Дальневосточный ФО, в котором лидирует республика Саха (Якутия), (10.8% от общего запаса лесов в стране). Оба федеральных округа расположены в зоне ММ, что существенно затрудняет и удорожает транспортировку заготовленной древесины по слаборазвитой сети автомобильных и железных дорог. Сведения о запасах древесины по федеральным округам и их доля в общем запасе в РФ приведены в таблице 1. [2]

Ниже в таблице 2 приведены мировые запасы древесины и у "пятерки мировых лидеров", указаны площади лесных массивов, которыми располагает каждая из стран-лидеров, объемы и интенсивность ведения заготовки древесины. Занимая первое место в мире по запасам древесины и второе по объемам ежегодной лесозаготовки, РФ демонстрирует более чем в три раза хуже показатели по интенсивности ведения заготовки по сравнению со среднемировыми значениями и худшие в группе лидеров. Для сравнения, показатели интенсивности лесозаготовки РФ в 1.5 раза хуже, чем у Канады, с которой она близка по географическим и климатическим характеристикам (40% территории Канады находится в зоне ММ).

Таблица 1. Запасы древесины по федеральным округам и лидирующим регионам страны

Федеральный округ		Запас древесины (Росстат 2020)	
		всего, млн.м ³	в % к общим запасам
Общий запас РФ		82 618.1	100
Сибирский ФО		28 082.8	34
В том числе в регионе	Красноярского края	11 555.5	14
	Иркутская обл.	8 769.7	10.6
Дальневосточный ФО		25 531.2	31
В том числе в регионе	Респ. Саха (Якутия)	8 890.4	10.8
	Хабаровский край	5 138.2	6.2
Северо-западный		10 375.7	12.6
Уральский		8 134.9	9.8
Приволжский, Центральный, Южный и Северокавказский ФО		10 493.5	12.6

Таблица 2. Запасы, объемы и интенсивность заготовки древесины по странам

страна	Запасы древесины		Заготовка древесины		Интенсивность лесозаготовки с 1 га лесных земель, м ³ /га
	Всего, млн. га	в %	Всего, млн. м ³	в %	

Всего на планете	4006	100	2027.5	100	1.0
РФ	851	21.2	219.6	10.8	0.3
Бразилия	544	13.6	158.1	7.8	0.57
Канада	245	6.1	150.7	7.4	0.44
США	226	5.6	368.2	18.2	1.4
Китай	163	4.1	180.2	8.9	1.7

По материалам, опубликованным в отчетах Росстата РФ сформирована таблица 3, в которую внесены показатели объемов лесозаготовки лидирующих регионов РФ и интенсивность использования 1 га лесных земель. Прослеживается четкая закономерность: на территории Европейской части РФ имеется достаточно развитая сеть автомобильных и железных дорог, которые позволяют вывозить основные виды кондиционной древесины, что невозможно сделать в Сибирском и Дальневосточном ФО. В отдельных регионах страны (Вологодская и Кировская области) организованы производства по частичной переработке низкокачественной древесины, что позволяет им достигнуть показателей интенсивности использования лесных земель США и Китая. [2]

Таблица 3. Объемы лесозаготовки и интенсивности использования лесных земель

Регион	лесозаготовка, %		Регион	лесозаготовка, %	
	всего	с 1 га лесных земель, м ³ /га		всего	с 1 га лесных земель, м ³ /га
Сибирский ФО			Европейской части РФ		
Иркутская обл.	14	0.5	Вологодская обл.	8	1.7
Красноярский край	12	0.2	Архангельская обл.	7	0.6
Дальневосточный ФО			Республика Коми	5	0.3
Хабаровский край	3	0.15	Кировская обл.	4	1.2
Республика Саха (Якутия)	0.7	0.0003	Пермский край	4	0.7
			Республика Карелия	4	0.8

Итог сравнения результатов интенсивности лесозаготовки в Вологодской или Архангельской областях с показателями Красноярского или Хабаровского края заставляют задаться вопросом о целесообразности ведения лесозаготовки с показателями в 8-12 раз ниже, не походит ли такая лесозаготовка на уничтожение лесов в этих регионах.

2. Лесные запасы республики Саха (Якутия).

В таблице 4 собраны материалы, характеризующие состояние лесного фонда республики Саха (Якутия), которая занимает 1 место по запасам древесины в Дальневосточном ФО и имеет при этом один из худших показателей интенсивности использования лесных земель – в тысячу раз хуже среднего показателя по стране. Свыше 80% лесов республики составляют леса третьей группы, к ним относятся леса многолесных районов, имеющие эксплуатационное

значение, из которых эксплуатируется только 19%. Остальные леса расположены в труднодоступных районах и отнесены к группе резервных. Также выделена группа недоступных лесов, эксплуатация которых не предполагается по природным условиям. Леса 2 группы в республике отсутствуют.

Лесозаготовка ведется только в южных районах республики из-за крайней уязвимости лесов, произрастающих в условиях ММ. Леса республики ежегодно значительно страдают от пожаров, среднее их число за год превышает 850. Из приведенных в таблице сведений следует, что ежегодный объем лесозаготовки в республике в 10 раз меньше ежегодной гибели лесов от пожаров.

Основной породой древесины, произрастающей в республике, является даурская лиственница, на долю которой приходится 86% всех лесных запасов республики. Эту породу древесины отличают отличные прочностные характеристики, стойкость к воздействию негативных факторов. Но лиственница имеет одну из самых высоких плотностей свежесрубленной древесины и смолистость в 5 раз выше, чем у сосны, поэтому заготовка древесины проходит в узком интервале времени года с использованием специального оборудования.

Таблица 4. Характеристики лесного фонда республики Саха (Якутия)

Характеристики лесного фонда республики Саха (Якутия)		Ед.измерения	Значение
Лесной фонд	всего	млн. км ²	2,56
	в долях от общей площади	%	83
Запас древесины	общий	млн. м ³	8890.4
	на 1 км ²	м ³ /км ²	3473
Потери от пожаров за 10 лет		млн. м ³	40
Ежегодный прирост древесины			97.5
Объем лесозаготовки		млн. м ³	0.42
Интенсивности использования лесных земель		м ³ /Га	0.0003
Лесистость в улусах	южных	%	93
	северных		25
Доля гарей от общей площади лесов			8,9
Доля вырубок			0,5
Основные лесообразующие породы	даурская лиственница		86
	сосна		7
Плотности свежесрубленной древесины	даурская лиственница		кг/м ³
	сосна	800	

3. Устойчивость лесов республики к проведению лесозаготовки в условиях ММ.

В таблице 5 собраны сведения о площадях лесов Республики Саха (Якутия), их устойчивости к процессам ММ. Леса условно можно разделить на три группы, общие площади и доли площадей, которые приведены в таблице 5.

Земля на территориях первой и второй групп лесных массивов после проведения лесозаготовки, лишившись защиты леса, начинает оттаивать и оползать по склонам. Использование тяжелой заготовительной техники

нарушает слабый растительный слой, после чего лесовосстановление на таких территориях невозможно. Поэтому для проведения рубки могут выделяться только леса малой крутизны или плоские, где не будет происходить оползание грунта. Таких лесов в республике насчитывают не более 20%. Последствия проведения лесозаготовок в зоне ММ уже негативно сказались на процессе лесовосстановления. Специалисты в течение 40 лет фиксируют незарастающие проплешины на поверхности земли после проведенных лесозаготовок. В этих зонах повсеместно наблюдаются оползни, способствующие усилению процесса деградации ММ. [4]

Таблица 5. Устойчивость лесов республики к ММ

Категория устойчивости ММ	Название лесного массива	Доля занимаемых площадей лесных массивов, %
Неустойчивые	Лиственничное редколесье	10.5
	склоны лиственничного редколесья	17.5
Относительно неустойчивые	склоны средней крутизны с сосново-лиственничным лесом	41.5
	склоны крутые с сосновым лесом	1.0
Относительно устойчивые	Склоны средней крутизны с сосновым и сосново-лиственничным лесом	10.5
	Плоский с сосновым и сосново-лиственничным лесом	19.0

Ускорению процесса деградации ММ способствуют потепление температуры воздуха, воды и почвы, зафиксированные исследованиями международного коллектива ННИИЦ Франции, университета Аляски (США) и Института мерзлотоведения СО РАН им. академика Мельникова [1]. В регионе зафиксирован рост температуры воздуха на 4°, почвы на 1° за последние 10 лет.

Не меньшей проблемой лесного комплекса является изменение гидрологических характеристик главной реки республики, Лены, протяженность которой составляет 4400 км. [3] За последние 10 лет наблюдений были зафиксированы задержки сроков ледообразования на реке и уменьшение толщины ее льда, что сокращает время работ ледовых переправ, т.е. время вывозки заготовленной древесины. Отмечается рост температуры воды в паводковый период на 2° и увеличение расхода воды до 7%, что приводит к увеличению площадей подтопления территорий и, как следствие, усиливает процессы выделения метана в атмосферу, что способствует росту температуры атмосферного воздуха. На 1° отмечено увеличение температуры пород, формирующих берега реки, что, вместе с возрастанием скоростей ее течения в паводковый период, усиливает процессы деформации берегов реки. Определены ежегодные объемы древесины, попадающей в воду реки Лена за

счет сезонного размыва береговой линии шириной до 40 м [1]. Согласно сведениям таблицы 4 при размыве и обрушении берегов в реку может попасть до 200 тыс. м³ древесины ежегодно, а это всего лишь в 2 раза меньше объемов ежегодной лесозаготовки в республике. При организации мониторинга процесса эрозии береговой линии реки Лена, можно предупредить обрушение древесины в воду, организовав заготовку леса, либо уже организовывать работы по сбору затонувшей древесины, в основном лиственницы, качество которой не снижается даже при длительном пребывании в воде. Этим можно увеличить объемы лесозаготовки и одновременно сохранить условия судоходства по водным транспортным путям республики.

Заключение. Ведение лесозаготовки в регионах ММ связано с крайне низкой интенсивностью использования лесных земель. Причина не в качестве растущего леса, а в экономической нецелесообразности вывоза в мест заготовки всех сортов деловой древесины. Дорог в регионе крайне мало, их строительство на грунтах в зоне деградации ММ кратно увеличивает стоимости работ, и как следствие, стоимость транспортировки лесных грузов. В итоге, ведение лесозаготовки в регионе Сибири и Дальнего Востока менее эффективно чем, например, в Вологодской области. Кроме того, проведение лесозаготовки на территориях ММ нарушает структуру почвы и усиливает процессы деградации ММ. Особенно сложной выглядит ситуация в республике Саха (Якутия), которая имеет огромные запасы леса, заготовка которого усложнена в условиях слабых грунтов, потепления климата, приводящего к изменению русловых процессов и ежегодных пожаров, уничтожающих значительные запасы леса.

Библиографический список

1. Дмитриева И.Н., Григорьев Г.В., Эполетов Д.В. Влияние температурных факторов на гидрологию рек и лесные запасы Арктического региона РФ // Актуальные проблемы лесного комплекса Материалы XVIII Международной научно-технической конференции / ВГУ. - Вологда: Изд-во: ВГУ 2020. - С.132-138.
2. Российский статический ежегодник 2020. [Электронный ресурс]: Федеральная служба государственной статистики. – URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/KrPEshqr/year_2020.pdf – (дата обращения: 29.03.2021).
3. Дмитриева И.Н., Эполетов Д.В. Возможности увеличения грузооборота северного морского пути за счет роста грузопотока лесоматериалов через порты арктического бассейна // Актуальные проблемы лесного комплекса Материалы XVII Международной научно-технической конференции / ВГУ. - Вологда: Изд-во: ВГУ 2019. - С.167-171.
4. Николаева А.П. Оценка устойчивости ландшафтов Якутии к техногенным воздействиям // Вестник Северо-Восточного Научного Центра ДВО РАН. – 2008. – № 3. – С. 60-66;

Сведения об авторах

ФИО

Григорьев Г.В.

Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9029-2864
e-mail	vtl-lta@mail.ru
ФИО	Дмитриева И.Н.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5509-6592
e-mail	in2907@mail.ru
ФИО	Эполетов Д.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6491-3492
e-mail	d.epoletov@yandex.com

Аннотация

В статье собран и проанализирован материал о проблемах ведения лесозаготовки в условиях деградации ММ, слабости сети дорог, крайне низкой эффективности ведения лесозаготовки на лесных землях, к которым относятся Сибирский ФО и Дальневосточный ФО. Рассмотрены проблемы, связанные с ведением лесозаготовки на территориях со слабыми грунтами в условиях потепления климата на территории Республики Саха (Якутия) и влияние этих процессов на интенсивность процесса деградации ММ.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота, эрозия берегов, потепление климата, лесозаготовка, ледообразование, интенсивность использования лесных земель.

УДК 556.06

Разделы рубрикатора ГРНТИ 37.27.23

2. ЛЕСОСЕЧНЫЕ РАБОТЫ

Концепция оценки проходимости трелевочных тракторов

Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.,
Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Мурашкин А.А.

Введение

Исследователи взаимодействия мобильных сельскохозяйственных машин с почвой считают, что все же решающее влияние на плодородие почвы оказывает ее плотность [21]. Почвоведы плотность почвы сельскохозяйственных угодий подразделяют на равновесную плотность – плотность естественного сложения и плотность оптимальную [18], для возделывания сельскохозяйственных культур, значения которой значительно меньше, чем у равновесной плотности [22]. Следовательно, априори можно утверждать, что минерализация и разуплотнение верхнего слоя лесной почвы машинами и древесиной может благоприятно влиять на рост и развитие лесных культур [11].

Исследователи взаимодействия мобильных сельскохозяйственных машин с почвой рассматривают изменение плотности почвы при образовании следа в процессе прохождения машины [21], при этом показатель плотности почвы применяется в качестве «выходного параметра» функционирования системы «двигатель – почва» [13]. Для оценки отрицательного экологического воздействия сельскохозяйственных мобильных машин применяется показатель уплотняющего воздействия [5].

Таким образом, исследователи мобильных сельскохозяйственных машин принимают в качестве выходного параметра системы «двигатель – почва» плотность почвы и доказывают [14], что она является основной агрофизической характеристикой почвы, определяющей ее плодородие [1].

Проходимость лесных машин не имеет строгого определения в теории мобильности систем различного назначения [2]. Применительно к машинам первичного транспорта леса, проходимость можно рассматривать как эксплуатационные свойства [29], характеризующие способность машин совершать движения с определенной силой тяги и энергоемкостью процесса без нарушения (или при допустимом нарушении) плодородия лесной почвы [4]. В конечном итоге, исследователя и эксплуатационника интересует проходимость как свойство машины [16], влияющее на производительность, энергоемкость процесса трелевки и уплотнение трелевочной системой (трелевочный трактор – пачка древесины) лесной почвы [17]. При современном подходе к проблеме новая концепция будет признана только в том случае, если будет содержать

четкую систему прогнозирования проходимости [20]. Из всех мобильных систем трелевочный трактор и лесосечные машины, созданные на его базе [6], работают в исключительно сложных условиях движения, поэтому проходимость этих машин оказывает решающее значение на эффективность их работы [28]. Поэтому необходимо предложить показатели и разработать методику оценки прогнозирования проходимости трелевочных тракторов [4].

Известно, что проходимость лесосечных машин зависит от технических решений и параметров ходовой системы [8], их поворотливости и процессов [19], возникающих в зоне контакта движителя с опорной поверхностью [10], которые определяются коэффициентом сопротивления качению ϕ , коэффициентом сцепления движителя с грунтом и коэффициентом буксования (или потери проходимости от буксования) [9].

При исследовании проходимости лесосечных машин необходимо иметь в виду [27], что генеральная совокупность машин распределяется в эксплуатации по нормальному закону распределения и только небольшая часть машин попадает в очень легкие или очень тяжелые условия эксплуатации. Подавляющее большинство эксплуатируется в нормальных (типичных) условиях для лесопромышленной зоны [15].

Характерная особенность взаимодействия трелевочной системы с волоком в отличие, например, от сельскохозяйственного машинно-тракторного агрегата [25], состоит в том, что с увеличением трелеваемой пачки древесины сила сопротивления волока растет медленнее, чем сила сцепления движителя с опорной поверхностью, поэтому в нормальных условиях эксплуатации потери от буксования должны быть не более значения, регламентированного ГОСТ, т.е. при прямолинейном движении 5 % – для гусеничного трактора и 18 % – для колесного [23].

Следует отметить, что реальный процесс трелевки содержит длительный режим поворота, в котором потери от буксования значительно выше регламентированных ГОСТ [12].

Для оценки проходимости машин различного назначения применяются геометрические, тяговые и опорно-сцепные показатели. Рассмотрим некоторые из них.

Удельная мощность системы N_y , определяется зависимостью

$$N_y = N_{ен}/G_c \quad (1)$$

где $N_{ен}$ – номинальная мощность двигателя; G_c – вес (сила тяжести) трелевочной системы.

Удельная мощность характеризует проходимость транспортной системы только качественно [7]. Применительно к трелевочным системам этот

показатель, с нашей точки зрения, неприемлем, т.к. с ухудшением условий движения уменьшается рейсовая нагрузка, что приводит к увеличению удельной мощности, а проходимость может снижаться [3].

К качественным показателям проходимости можно отнести давление движителя на опорную поверхность и коэффициент сцепления движителя с грунтом [24]. Применение этих показателей для оценки проходимости весьма ограничено [26]. Максимальное давление гусеничного движителя на грунт может превышать его среднее значение в 3 ... 5 раз, а колесного – на 30...40 % принципиально отличаться.

Заключение

Таким образом, необходимо разрабатывать новую концепцию взаимодействия лесосечных машин с лесной почвой, которая бы в полной мере отражала воздействие трелевочной системы на почву [18].

Библиографический список

1. Алексеева С.В. Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин / Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Пендриков Е.С., Баринаева П.А., Кривоногова А.С. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 227-232.
2. Андронов А.В. Методика расчета предельных нагрузок на кониковые устройства сортиментовозных автопоездов / Андронов А.В., Пушков Ю.Л. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 349-352.
3. Войнаш С.А. К вопросу об оценке устойчивости гусеничного сортиментовоза / Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.
4. Добрынин Ю.А. Об одной особенности вертикальной динамики лесного трактора с колесной формулой 4×4 / Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Мартынов Б.Г., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Назарова М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 275-281.
5. Кретинин В.И. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин / Кретинин В.И., Теппов А.В., Кривоногова А.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 90 с. С. 38-41.
6. Кретинин В.И. Характеристика отказов лесопосадочных машин / Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
7. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.

8. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
9. Кривоногова А.С. Соппротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачеригов И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
10. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
11. Михайлов О.А. Методика определения оптимального передаточного ряда гидромеханической трансмиссии / Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Спиридонов С.В., Козьмин С.Ф., Пушков Ю.Л. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 42-47.
12. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
13. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
14. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
15. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
16. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
17. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишнязов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
18. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
19. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
20. Фам Н.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком / Фам Н.Л.,

- Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.
21. Хитров Е.Г. О сопоставлении среднего и номинального давления двигателя лесной машины на почвогрунт / Хитров Е.Г., Котенев Е.В., Андронов А.В., Ильющенко Д.А., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 229. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.– С. 185-195.
 22. Хитров Е.Г. Теоретическое исследование глубины колеи и уплотнения снега под воздействием двигателя лесной машины / Хитров Е.Г., Тарадин Г.С. Андронов А.В., Котенев Е.В., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 227. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 236-248.
 23. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
 24. Dobretsov R.Y. Power distribution mechanism for the transmission of forest tracked and wheeled vehicles / Dobretsov R.Y., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Andronov A.V. // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42046.
 25. Parkhomenko G.G. Reducing the negative impact of undercarriage systems and agricultural machinery parts on soils / Parkhomenko G.G., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Rzhavtsev A.A., // IOP Conference series: Earth and environmental science: Earth and Environmental Science. 4th Scientific-Technical Conference on Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education 2019 – Великобритания: Institute of Physics Publishi №315, 2019 – P. 012049.
 26. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
 27. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
 28. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.
 29. Shifrin, B.M. Development of a Feed Mechanism Control Model for KARA Master Circular Saw Based on SWITCH Technology / Shifrin, B.M., Yeliseev, I.V., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S., Pushkov, Y.L. // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEast 2020 – Vladivostok, Russia, 2020 – p. 9271629.

Сведения об авторах

ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru
ФИО	Мурашкин А.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	kepel13@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены основные критерии проходимости лесозаготовительной техники с учетом воздействия транспортной лесозаготовительной системы на окружающую среду. Сформулирован основной принцип оценки взаимодействия трелевочной системы с почвой, с учетом физико-механических характеристик грунтов.

Ключевые слова: максимальное давление на грунт, движитель, опорная поверхность, проходимость, концепция, взаимодействие трелевочной системы.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99.

Новая концепция систем транспортировки древесного сырья

Ржавцев А.А., Беленький Ю.И., Калистратов А.В.

Введение.

Россия обладает уникальными запасами древесного сырья (четверть мировых запасов леса). Ежегодный прирост древесины составляет порядка 920–970 млн. кубометров – огромный потенциал, который на сегодняшний день используется неудовлетворительно.

Древесное сырье только тогда считается заготовленным, если оно находится на складе, расположенном около магистральных транспортных путей: автомобильных, железнодорожных, водных. В настоящее время в России заготавливается около 200 млн. кубометров, это 60...80% биомассы дерева, все остальное (ветви, вершины, корни) – остается в лесу. Кроме того, как известно, 20-40% (а то и 60%) составляет объем низкокачественной (дровяной) древесины, транспортировка которой зачастую оказывается нерентабельна. Таким образом, можно с уверенностью считать, что потери древесного сырья при заготовке древесины составляют 50%.

Главной причиной недоиспользования лесосырьевых ресурсов в целом (освоение расчетной лесосеки составляет всего 20%) и потерь при заготовке можно считать недоступность лесосырьевых ресурсов и высокие транспортные издержки. По разным оценкам затраты на вывозку древесины занимают до 50% в ее себестоимости. Основными составляющими транспортных расходов являются: строительство лесовозных дорог, подъездных путей, погрузочных площадок; содержание и эксплуатация подвижного состава; заработная плата. Учитывая, что значительная часть лесосырьевой базы рассредоточена и расположена в труднодоступных местах, т.е. местах с недостаточно развитой транспортной, энергетической сетью, с отсутствием квалифицированных кадров, проблема освоения труднодоступных лесосырьевых районов будет усугубляться.

Содержание статьи.

Решение вышеизложенной проблемы невозможно без поиска, разработки и внедрения новых транспортных систем [1]. Необходим пересмотр общей концепции транспорта древесного сырья, учитывающий не только экономическую, но и экологическую составляющую данной проблемы. Речь идет о том, что расширение сети автомобильных дорог в лесосырьевых регионах может привести к непоправимому ущербу бореальным лесам. Дело не только в загрязнении атмосферы отработавшими газами и углеводородными испарениями автомобилей, сколько то, что под строительство дорог безвозвратно выводятся лесные земли. Нарушается целостность почвенного покрова, изменяется водный режим, гидрология болот и речных водосборов. Особенно это касается северных лесов.

Вектором к поиску новых транспортных систем служит тот факт, что вся балансовая древесина, отходы лесозаготовок и лесопиления, а также большая часть дровяной древесины полегит измельчению. Измельченное древесное сырье (щепа) – это типичный массовый груз с совершенно иными свойствами в отличие от сортиментной древесины. Основными транспортными свойствами щепы можно назвать сыпучесть и однородность в рамках фракционного состава. Для перемещения таких грузов, в качестве внутризаводского транспорта, успешно зарекомендовали себя трубопроводные системы: гидро- и пневмотранспорт. Длина таких трубопроводов (их еще называют пульпопроводами) может измеряться сотнями километров.

Например: В США в 1970 году был построен углепровод между штатами Невада и Аризона длиной почти 440 километров. По нему поставлялся измельченный уголь от месторождения к тепловой электростанции. В Бразилии действуют трубопроводы, осуществляющие гидротранспорт железного концентрата на расстояние в 400 км и фосфатов на 120 км. В Аргентине работает пульпопровод с медного месторождения до обогатительной фабрики длиной в 316 км. Самым длинным сооружением такого типа для транспортировки твердого продукта мог стать канадо-американский трубопровод длиной более 2000 километров, по которому планировалось перекачивать поташ (карбонат калия) в виде капсул в потоке нефти.

Новая концепция транспортировки древесного сырья представляет идею внедрения в лесопромышленное производство трубопроводных транспортных систем, по которым осуществляется перемещение измельченной низкокачественной древесины [2,3].

Система трубопроводного транспорта включает в себя: загрузочный и приемный узлы, трубопровод и подкачивающие насосные станции. Подземная или подводная прокладка трубопроводов не нарушает природных ландшафтов, не несет загрязнений в окружающую среду. Подкачивающие станции работают на электрической энергии, которую можно получать при сжигании или газификации низкокачественной древесины.

При решении поставленной проблемы необходимо учитывать следующие аспекты:

- Существующий опыт эксплуатации гидротранспортных комплексов, перемещающих измельченную древесину, незначителен. Это обусловлено экономическими условиями, в которых проектировались все гидротранспортные установки [4]. Они определяли высокую стоимость электроэнергии и материалов, в частности труб. В результате рассматриваемые системы транспортировали гидросмеси на расстояние не более 2000м. При проектировании гидротранспортных систем, как

правило, минимизация затрат заключалась в выборе минимального гидравлического уклона, то есть стремились минимизировать только часть эксплуатационных затрат, оставляя без внимания капитальные и прочие текущие затраты.

- США и страны Европы накопили достаточный опыт в использовании ПВХ труб для транспорта воды, газа и канализационных стоков, который показывает, что по сравнению со стальными трубопроводами ПВХ трубы обладают меньшим гидравлическим сопротивлением, погонным весом, большей теплоемкостью и износостойкостью. При этом стоимость ПВХ труб сильно зависит от рабочего давления, то есть, при низких давлениях ПВХ трубы дешевле стальных, а при высоких – дороже. Известные методы оценки экономической эффективности гидротранспортных комплексов и обоснования их рациональных параметров не учитывают существующих экономических реалий. Все эти методы были разработаны до 1990-х гг., и не ориентированы на экономические условия рыночной экономики.

Заключение.

Для реализации идеи внедрения в лесопромышленное производство трубопроводных транспортных систем стоят следующие задачи:

1. Систематизированная оценка лесосырьевых ресурсов и их распределение по доступности;
2. Создание функциональной модели системы трубопроводного транспорта на большие расстояния;
3. Обоснование эксплуатационных и технологических параметров гидротранспортной установки с учетом новых материалов и технологий;
4. Экономическая оценка.

Библиографический список

1. Патент на полезную модель №143554, заявка №2014105714, опубликовано 27.07.2014 Бюл № 21 /Средство для транспортирования древесной щепы/ Ржавцев А.А., Комяков А.Н., Локштанов Б.М., Орлов В.В., Бачериков И.В;
2. Ржавцев А.А., Иванов В.А.. Низконапорный гидротранспорт измельченной древесины //Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы Международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ 2015 с.76-78
3. Ржавцев А.А., Иванов В.А., Коткас Л.А. Гидротранспорт щепы на дальние расстояния Актуальные проблемы развития лесного комплекса: Материалы Международной научно-технической конференции. – Вологда: ВоГТУ 2016 с.138-141
4. Исследования и разработка трубопроводного гидротранспорта щепы /отчет/. Тема 1976. Лесотехническая академия. Руководитель Слабодкин А.Я. Ленинград 1970. 134 с.

Сведения об авторах

ФИО

Ржавцев А.А.

Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8452-6406
e-mail	andrey.rz961@gmail.com
ФИО	Беленький Ю.И.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1937-7472
e-mail	2000zalom@gmail.com
ФИО	Калистратов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2054-2029
e-mail	shurik77@mail.ru

Аннотация

Предложена новая концепция транспортировки древесного сырья с использованием трубопроводных транспортных систем.

Ключевые слова: транспорт древесного сырья, трубопроводный транспорт, экология.

УДК 630:629

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.99.

Особенности формирования отчетов систем контроля-измерения многооперационных лесных машин на колесном и гусеничном движителях

Свойкин Ф.В., Жук К.Д., Угрюмов С.А., Бирман А.Р.

Введение.

В настоящее время в лесной промышленности в сфере заготовки древесины используются лесные машины, оснащенные бортовыми системами [1], обладающие совокупным аппаратным комплексом системы контроля-управления, позволяющие контролировать технологический процесс на разных стадиях и получать статистическую информацию по размерно-качественным характеристикам заготовленной древесины и работе лесозаготовительной

машины путем сбора и обобщения информации с контрольно-измерительных датчиков базовой машины и технологического оборудования.

Информация с бортовой системы может быть сохранена на переносной носитель и использована как в исследовательских целях, так и для повышения выхода деловой древесины. Она хранится в файлах с несколькими типами расширений, преимущественно в следующих:

- art – файл настроек для работы валочно-сучкорезно-раскряжевочной машины (ВСРМ);
- stm – файл ствола, хранящий информацию по стволу дерева;
- prd – файл продукции с информацией по заготовленной продукции;
- drf – файл рабочего времени для анализа технических данных с лесной машины (время простоя, время работы и т.д.).

В большинстве случаев на лесных машинах с колесными двигателями используются только art файлы, анализируя которые лицо принимающее решение (ЛПР) может задать конкретные параметры для последующей работы (требуемые размерные характеристики круглых лесоматериалов, качество и т.д.). Файлы stm, prd и drf могут формироваться бортовой системой контроля-управления ВСРМ автоматически и быть извлечены на переносной носитель (либо отправлены ЛПР напрямую с лесной машины при наличии GSM-подложки) для использования в программном обеспечении производителей круглых лесоматериалов для кратко и среднесрочного планирования, либо для исследовательских целей.

С практической точки зрения своевременное получение информации по заготовленной продукции может существенно повлиять на распределение ресурсов между обрабатывающими машинами. При заготовке древесины в зависимости от принятого технологического процесса могут использоваться различные комбинации лесозаготовительной техники, которые требуют разных подходов при установке бортовых систем, осуществляющих контроль технологического процесса, а также дает ЛПР количественную информацию по заготавливаемой продукции. Так, для лесных машин на гусеничном и колесном ходах существуют различия в аппаратном и программном обеспечении.

Особенности формирования отчетов в многооперационных лесных машинах на базе колесного и гусеничного двигателя.

В процессе заготовки древесины из-за отсутствия GSM-подложки и принтера возникает необходимость получения справки об объеме фактически заготовленной древесины с дифференциацией по породам, сортименту, оператору и т.д. системы измерения Motomit [2] для последующего анализа. Для этого с помощью карты флэш-памяти Compact Flash для 5” монитора, либо обычной карты памяти USB для 6,5” монитора (интерфейс представлен на рисунке 1) необходимо произвести комплекс следующих операций:

1. Включить Motomit [3], войти в основное меню.

2. Вставить карту памяти в соответствующий разъем. В разделе «Базовые установки» меню «Операторы» можно записать до трех операторов. В разделе «Раскряжевки» меню «Лесосека» можно открыть до четырех лесосек. При этом, если необходимо завести новую лесосеку с теми же таблицами сортиментов, можно во вновь открытой лесосеке, нажав на кнопку в нижней части экрана, установить арт-файл из предыдущей лесосеки и продолжить работу.

3. Зайти в раздел «Вывод данных», в котором доступны следующие меню: «Объем работ», «Прочие» и «На экран». В меню «Объем работ» выбираем в верхней строке «Справку об объеме фактически заготовленной древесины» и нажимаем «Предварительный просмотр печати». Откроется окно «Справка измерения», в котором можно найти следующую информацию:

- текущую дату;
- модель харвестерной головки;
- установленное программное обеспечение;
- номер делянки;
- дату начала работы на делянке;
- имя водителя (текущее, активное);
- способ измерения;
- дату последней калибровки;
- таблицу обработанной древесины с разбивкой по породам и сортиментам и общим объемом заготовленной древесины (таблица суммарная по всем работающим операторам).

Чтобы сохранить «Справку измерения» на карту памяти необходимо нажать кнопку «File» и после того как откроется окно «Сохранить на карте» нажать «Ввод».

В меню «Прочие» доступно получение следующей информации:

- размеры сортиментов(запрограммированные таблицы раскряжевки);
- базовые установки (машинные настройки системы измерения Motomit);
- параметры калибровки;
- раскладка клавиатуры джойстиков;
- дополнительная память (информация по раскряжевке последних 2000 спиленных стволов: порода, сортимент, длина, диаметр, объем, таблица диаметров по длине ствола- первый замер через 50 см от распила, остальные через каждые 100см);
- ежедневный отчет (рабочее и общее время для каждого оператора, объем заготовленной древесины каждым оператором в отдельности с момента начала работы до текущей даты);
- коды ошибок.

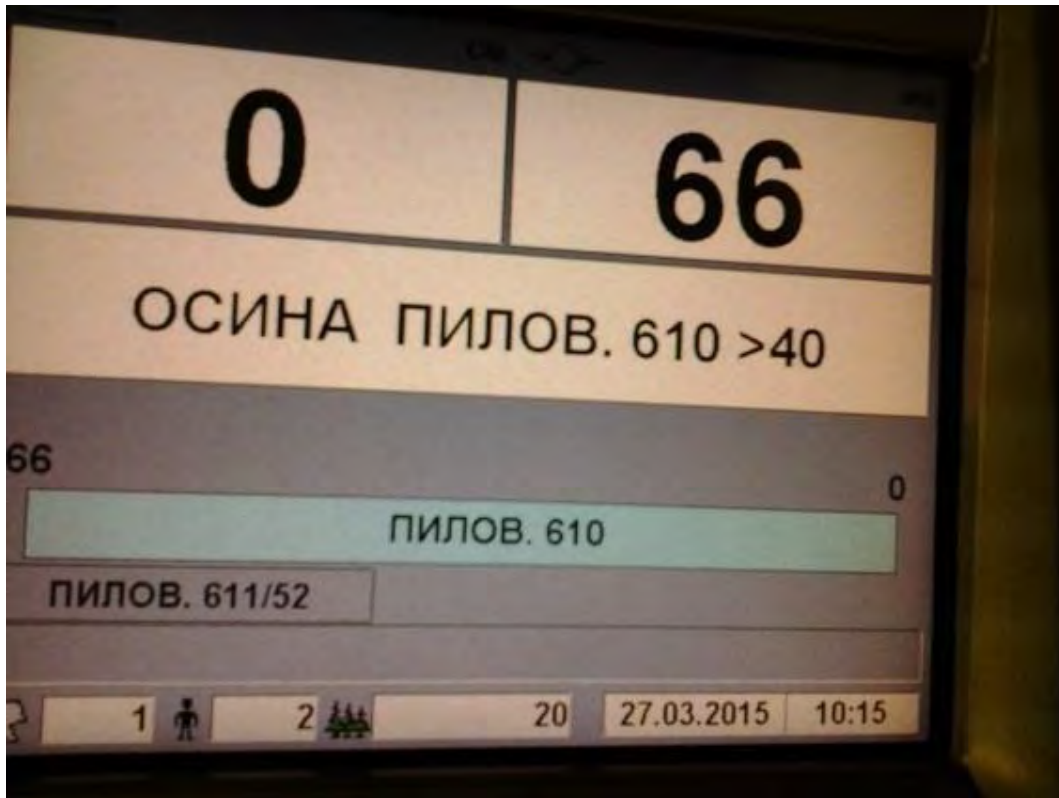


Рис. 1. Графический интерфейс монитора системы измерения Motomit

Все эти данные можно сохранить на карту памяти. В меню «На экран» можно посмотреть (только на мониторе) общий объем заготовленной древесины (суммарно для всех работающих операторов) с начала работы на делянке до текущей даты, объем по каждой породе и время работы операторов.

4. После того, как сохранены нужные файлы на карту памяти, необходимо зайти в основное меню, извлечь карту памяти из блока МСТ, вставить карту памяти в персональный компьютер и открыть нужные сохраненные файлы.

Сохранение и загрузка настроек системы измерения MOTOMIT выполняется в следующей последовательности:

1. Включить систему измерения Motomit.
2. Зайти в основное меню и вставьте в соответствующий разъем блока МСТ карту памяти.
3. После настройки параметров базовой системы измерения Motomit, настройки таблиц раскряжевки и программирования раскладки клавиатуры, зайти в раздел «Передача данных», меню «Сохранение». Выбирать в правом окне тип файла ART и нажать ОК – Сохранить (таблицы раскряжевки и раскладки клавиатуры).
4. Выбрать в правом окне тип файла MAS и нажмите ОК – Сохранить (машинные настройки).

5. Для загрузки сохраненных на карте памяти настроек необходимо зайти в раздел «Передача данных» меню «Загрузка» и загрузить с нее MAS и ART файлы.

Стоит отметить, что доступные отчеты не обладают информативностью, а также межплатформенностью для передачи данных между лесными машинами по StanFoD2010, поскольку предприятие применяет на заготовке ВСРМ VolvoEC210Bf на гусеничном ходу на базе Экскаватора + ХГ LogMax6000Bc системой контроля-измерения Motomit, а на первичной вывозке древесины колесный сортиментоподборщик PonsseBuffalo 8W, с системой контроля-управления PonsseOptiControl. Поэтому для взаимодействия лесных машин потребуется в дальнейшем разработка межплатформенного ПО.

Заключение.

В отличие от техники на колесном движителе, в технике на гусеничном движителе представлены недостаточно информативные дисплеи (диагональю и 5 и 6,5 дюйма, в то время как дисплеи на специализированной технике на колесном движителе обладают дисплеем с диагональю 8-15 дюймов), требуется формирование промежуточного файла – машинных настроек MAS с последующим выгрузки сохраненных настроек и предварительного обнуления настроек, а также запись не более 2000 файлов, что при типичных таксационных характеристиках лесосек (арендной базы Средней тайги СЗФО РФ и количестве деревьев порядка 10 000 стволов при площади лесосеки 10-20 га и среднем запаса около 200 м³/га, среднем объеме хлыста около 0,30 м³) не позволяет осуществлять оперативный контроль и среднесрочное прогнозирование приемлемых объемов лесозаготовки для повышения выхода деловой древесины на лесосеке.

Библиографический список

1. Мануковский А.Ю. [и др.]. Программные комплексы современных лесных машин // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности: сборник научных статей. – Казань: ООО «КОНВЕРТ», 2020. –С. 57-59.
2. Operator's Manual. Measuring and Control System – Motomit IT 2014 (Canada: Industries Inc.) 2014. – 160 p.
3. User's book – Motomit IT 2014 (Brantford, Ontario, Canada: Industries Inc.). Part No. 43636AENG. – 160 p.

Сведения об авторах

ФИО	Свойкин Федор Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8938-6910
e-mail	svoykin_fv@mail.ru
ФИО	Жук Кирилл Дмитриевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	zhuk_kd@mail.ru
ФИО	Угрюмов Сергей Алексеевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6246-6269
e-mail	ugr-s@yandex.ru
ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru

Аннотация

Представлены особенности формирования отчетов бортовыми системами многооперационных лесных машин на базе колесных и гусеничных движителей. Установлено, что доступные отчеты не обладают информативностью и межплатформенностью для передачи данных между лесными машинами поэтому для взаимодействия лесных машин требуется разработка межплатформенного программного обеспечения. В отличие от колесной техники, для техники на гусеничном движителе требуется формирование промежуточного файла с последующей выгрузкой сохраненных настроек и предварительного обнуления настроек, а также ограничение числа формируемых файлов, что затрудняет оперативный контроль и прогнозирование объемов лесозаготовки для повышения выхода деловой древесины на лесосеке.

Ключевые слова: заготовка древесины, гусеничные движители, колесные движители, лесные машины, производительность, отчет.

УДК 630*812

**Планирование многофакторного эксперимента
в исследованиях лесосечных машин**

**Захаров В.А., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Козьмин С.Ф.,
Пушков Ю.Л., Андронов А.В., Мартынов Б.Г.**

Введение.

Ранее в работе [1] были показаны только исходные положения при планировании многофакторного эксперимента. В данной статье определены особенности планирования многофакторного эксперимента при экспериментальных исследованиях лесосечных машин.

Обычно в целях сокращения числа опытов варьирование факторов проводят на трех уровнях и с определенным интервалом. При проведении экспериментальных исследований лесозаготовительных машин, часто приходится варьировать факторы на 3,4 и более уровнях с переменным интервалом варьирования, что увеличивает объём экспериментальной работы, но приводит к повышению точности и степени адекватности модели. При таком подходе к планированию эксперимента статистическую оценку результатов удобнее проводить с использованием матричного аппарата. После выбора модели наблюдения определяем матрицу базисных функций F . Если функция отклика описывается с помощью линейной модели [1], то матрица базисных функций отличается от матрицы плана эксперимента [1] наличием дополнительного столбца, состоящего из единиц, имеем:

$$F = \begin{pmatrix} 1 & x_{11} \dots & x_k \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ 1 & x_{n1} \dots & x_{nk} \end{pmatrix} \quad (1)$$

Затем находим информационную (M) и дисперсионную (C) матрицы

$$M = F^T \cdot F \quad (2)$$

$$C = M^{-1} = \frac{1}{\det M} (M^B)^T, \quad (3)$$

где верхний индекс “Т” означает транспонирование, а “В” переход к взаимной матрице.

Вектор оценки параметров (коэффициенты регрессии) модели и функции отклика $\hat{\eta}$ соответственно равны:

$$\hat{\beta} = C \cdot F^T \cdot y = \begin{pmatrix} \hat{y}_1 \\ \dots \\ \hat{y}_n \end{pmatrix} \quad (4)$$

Находим оценку дисперсии наблюдений:

$$Q(\hat{\beta}) = \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (5)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{Q(\hat{\beta})}{n - p} \quad (6)$$

где n – число наблюдений; p – число линейных связей; $(n-p)$ – число степеней свободы.

Рассмотрим выбор факторов и параметра оптимизации при экспериментальных исследованиях трелевочных тракторов.

Вектор наблюдений (параметр оптимизации) – это реакция (отклик) от воздействия факторов на исследуемый объект.

В [2] приводится классификация параметров оптимизации и требования, предъявляемые к ним. На этом основании за векторы наблюдений принимаем скорость движения V и транспортную производительность $Пт$.

К факторам, как и к вектору наблюдений предъявляется целый ряд требований, одно из которых заслуживает особого внимания: факторы должны быть независимы, то есть возможно установление факторов на любом уровне вне зависимости от уровней других факторов. Если это условие не соблюдается, невозможно планировать эксперимент. Требование это выдвигает условие отсутствия корреляции между факторами, но это не означает, что между значениями факторов нет никакой связи. Главное, чтобы не было линейной связи. В зависимости от цикла испытаний менялось количество факторов, но в совокупности это:

- крутящий момент двигателя $M_{ен}$.
- коэффициент приспособляемости двигателя K_M .
- рейсовая нагрузка Q .
- сопротивление движению Ψ .
- количество передач.

Статическая обработка экспериментальных данных по нескольким циклам испытаний была проведена на персональном компьютере. Математическое обеспечение персонального компьютера позволило осуществить детальный анализ исследуемых регрессионных зависимостей между средней скоростью движения (соответственно транспортной производительностью) и четырьмя факторами.

$$x_1 = K_M, x_2 = N_{ен}, x_3 = Q, x_4 = \Psi.$$

Было обнаружено, что линейная регрессионная зависимость вида:

$$V = b_0 + \sum_{k=1}^4 b_k x_k$$

неадекватна, если каждый цикл испытаний рассматривать в отдельности, поэтому результаты этих испытаний обрабатывались с помощью квадратичной модели вида [3,4]

$$V = b_0 + \sum_{k=1}^4 b_k x_k + \sum_{K_1 e=1}^4 x_k x_e + \sum_{k=1}^4 b_{kk} x_k^2 \quad (7)$$

Была проведена обработка всех экспериментальных данных по всем циклам испытаний (в совокупности). По скорости движения V уравнение имеет вид:

$$V = 9,426 - 27,680\psi + 26,1 \cdot 10^{-3} K_M N_{ен} - 15,2 \cdot 10^{-3} Q^2 \quad (8)$$

Следует отметить, что обработка всего объема экспериментального материала дала возможность использовать уравнение линейной регрессии:

$$V = 7,355 + 1,947 \cdot K_M + 0,22 N_{ен} - 0,122 Q - 24,681\psi \quad (9)$$

вместо уравнения второго порядка (8), и так как в данном случае квадратичные ошибки (8) и (9) примерно одинаковы.

Заключение

Развитая методика планирования многофакторного эксперимента представленная в работе [1] и в данной статье решает задачи интерполяции и оптимизации основных параметров лесосечных машин.

Библиографический список

1. Захаров В.А., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Козьмин С.Ф., Затенко С. И., Тарабан М.В., Исходные положения при планировании многофакторного эксперимента. Сборник статей по материалам конференции. Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 г. СПбГЛТУ им.С.М. Кирова 2020 – с. 238-242
2. Математическая теория планирования эксперимента. /Ред. С.М. Ермаков – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982-392с.
3. Михайлов О.А. Особенности планирования эксперимента в исследованиях трелевочных тракторов. / Интенсификация лесозаготовительных и лесохозяйственных производств: Межвуз. сб. науч. Тр.-Л.: ЛТА, 1989-с. 87-90
4. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелёвочного трактора и снижение энергоёмкости трелевки и снижение энергоёмкости трелевки путем увеличенная приспособляемости дизеля. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Л.: ЛТА, 1986.-198с.

Сведения об авторах

ФИО	Захаров В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует

e-mail	vovaz19982@gmail.com
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru
ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Андронов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8345-3722
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
ФИО	Мартынов Б.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lesbisnes@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрены особенности планирования многофакторного эксперимента в исследованиях лесосечных машин. Приведены регрессионные уравнения, полученные в результате испытаний трелевочных тракторов с использованием развитой методики планирования эксперимента.

Ключевые слова: математическое планирование эксперимента, уравнение регрессии, функция отклика, факторное пространство, интерполяция, оптимизация, статистическая оценка.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Влияние приспособляемости дизеля на величину буксования гусеничных лесосечных машин

**Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Козьмин С.Ф., Андронов А.В.,
Пушков Ю.Л., Мартынов Б.Г., Захаров В.А.**

Введение.

Наряду с большими преимуществами дизелей по сравнению с другими типами двигателей (высокий КПД, низкий удельный расход топлива, большой крутящий момент и др.) они обладают одним существенным недостатком – низкий коэффициент приспособляемости K_M . В работе [1] было показано влияние K_M на эксплуатационные показатели трелевочного трактора при использовании ДПМ (двигателей постоянной мощности).

В последние годы на лесозаготовительных машинах все больше находят применение дизели с системой питания CommonRail которые имеют достаточно высокий K_M и лишены недостатков присущих ДПМ.

В этой работе мы хотим показать влияние K_M на буксование δ гусеничных лесосечных машин.

Ранее изучались только вопросы влияния энергонасыщенности трелевочного трактора на эксплуатационные показатели. Было установлено, что повышение энергонасыщенности трелевочного трактора сопровождается снижением потерь на буксование, улучшением проходимости и уменьшением разрушения почвенного покрова, что имеет большое экологическое значение. В работе [2] была установлена связь между коэффициентом буксования, моментом сопротивления и радиусом поворота.

Хотелось бы еще раз подчеркнуть, что одним из факторов, влияющих на транспортную производительность и топливную экономичность, является величина буксования δ . Известно, что с увеличением скорости движения сокращаются длительность и интенсивность уплотнения поверхности волока

грунтозацепами и это приводит к уменьшению величины δ [3]. В работе [4] изучалось влияние номинальной мощности $N_{ен}$ на потери при буксовании.

Проанализируем зависимость величины δ от коэффициента приспособляемости дизеля K_M на основе экспериментального материала, полученного во время различных циклов испытаний на полигоне-волоке Онежского тракторного завода.

Для измерения количества оборотов ведущих колес (звездочек) использовался контактный датчик, устанавливаемый на крышке вала бортового редуктора, с регистрацией сигналов электроимпульсными счетчиками. Определение количества оборотов карданного вала и ведущих звездочек, а также одновременная регистрация времени движения на мерном участке позволяют определить буксование и время полного выключения муфт поворота.

Данные измерений (табл. 1.) подтверждают, что с ростом коэффициента K_M (а следовательно, с увеличением скорости движения) величина δ уменьшается, и количественно описывают зависимость величин K_M и δ (рис. 1). Кроме того, описано, как с увеличением рейсовой нагрузки возрастают потери на буксование (табл. 1) качественно такая зависимость очевидна, так как с уменьшением скорости движения и возрастанием касательной силы тяги увеличивается длительность и интенсивность процесса уплотнения грунта.

Данные измерений по отдельным участкам полигона – волока, в свою очередь, показывают, что на подъемах и поворотах, то есть при больших значениях коэффициента сопротивления Ψ , у тракторов с более высоким K_M величина δ значительно меньше (5-7%), чем у аналогов. Эта разница становится несущественной на горизонтальных участках волока и особенно на спусках.

Таблица 1. Некоторые опытные данные по буксованию

Модель трактора	Q, м ³	K_M	$N_{ен}$, кВт	V, км/ч	δ , %
ТБ-1М	5,3	1,404	69,7	6,71	5,2
		1,146	70,4	6,35	7,4
	7,4	1,404	69,7	6,64	6,3
		1,146	70,4	5,99	8,9
ВП-100	5,2	1,385	71,9	5,54	10,2
		1,171	86,0	5,67	9,8
	6,3	1,385	71,9	4,90	11,8
		1,171	86,0	5,10	11,0
ТЛТ-100	5,3	1,385	71,9	6,33	7,1
		1,229	72,1	6,01	9,8

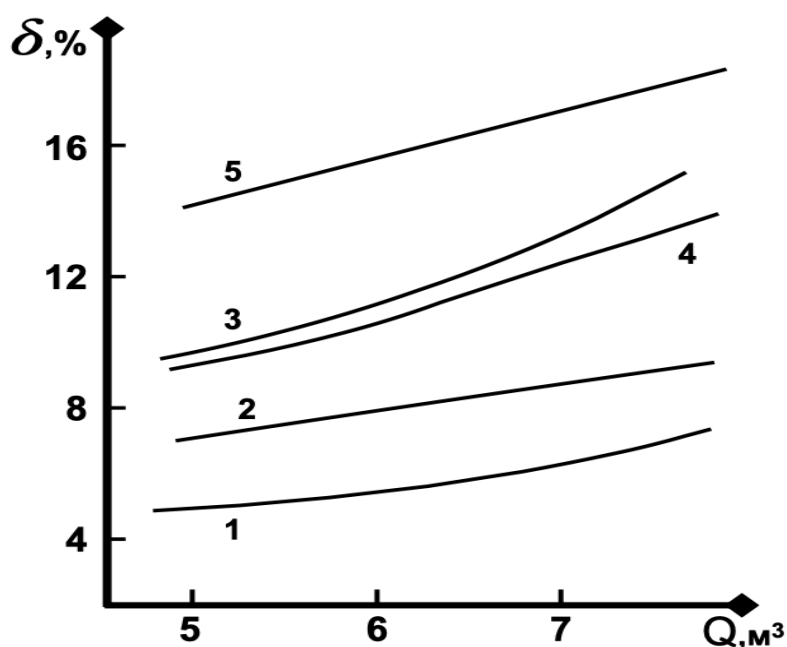


Рис. 1. Зависимость потерь на буксование от рейсовой нагрузки Q при разных параметрах двигателя: 1 – $K_M = 1,404$; $N_{ен} = 69,7$ кВт; 2 – $K_M = 1,146$; $N_{ен} = 70,4$ кВт; 3 – $K_M = 1,386$; $N_{ен} = 71,9$ кВт; 4 – $K_M = 1,172$; $N_{ен} = 86,0$ кВт; 5 – затяжной подъем; $K_M = 1,404$

Отметим, что проведённые измерения дали возможность одновременно оценить также и степень загрузки муфт поворота тракторов. Оказалось, что разница в количестве оборотов ведущего и ведомого барабанов каждой муфты составляет приблизительно 5%. Отсюда вытекает важный вывод: если за критерий загрузки фрикционов принять время их полного выключения, то оно составит примерно 10% от времени движения по полигону-волоку, при этом доля времени, приходящаяся на режим поворота трактора, составляет 65-70%.

Заключение

Использование дизелей с коэффициентом приспособляемости $K_M=1,325-1,404$ приводит к уменьшению потерь на буксование до 2-4% (по сравнению с двигателем аналогом). Во всех экспериментах время воздействия на фрикционы составило 65-70% от времени движения по волоку и соответствовало пятипроцентному полному выключению каждого фрикциона.

Библиографический список

1. Михайлов О.А. Улучшение тягового-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля. Дисс. на соиск. Уч. Степени канд. техн. наук, Л.: ЛТА, 1986.-198с
2. Шоль Н.Г. Исследование эксплуатационных режимов трелевочных тракторов ТДТ-55М и ТБ-1М. Л.: ЛТА, 1977. – 178с
3. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Колос, 1972. – 384с.
4. Валяжонков В.Д. Исследование некоторых эксплуатационных показателей трелевочных ОТЗ различной энергонасыщенности. Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, Л. ЛТА, 1975. – 156с.

Сведения об авторах

ФИО	Захаров В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vovaz19982@gmail.com
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru
ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Андронов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8345-3722
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
ФИО	Мартынов Б.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lesbisnes@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрено влияние коэффициента приспособляемости дизеля на буксование лесосечных машин. Приведены результаты экспериментальных исследований на полигоне-волоке ОТЗ. Получены важные выводы по времени использования бортовых фрикционов на волоке.

Ключевые слова: коэффициент приспособляемости дизеля, буксование, полигон-волок, лесосечные машины, измерительная аппаратура, бортовой фрикцион.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Влияние способа трелевки на вертикальную динамику колесного трактора

**Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А.,
Тарадин Г.С, Дурманов М.Я., Зверев И.А.**

Введение.

Важным звеном лесовосстановительных работ являются рубки ухода, которые проводятся часто под пологом леса. Для проведения таких работ

требуются малогабаритные, маневренные и обладающие высокой проходимостью колесные системы. Такие транспортные системы должны отвечать основному экологическому требованию, как сохранение лесной среды.

На рис.1 представлен такой трактор с колесной формулой 4x4 и с тросочкерным оборудованием.



Рис. 1. Трактор Т-25АЛ с тросо-чокерным оборудованием

На базе этого трактора было разработано целое семейство лесосечных машин, а именно: валочно-пакетирующие, валочно-трелевочные, подборщики (скидеры), сортиментовозы (форвардеры). На рис.2 показан форвардер на базе трактора Т-25АЛ.

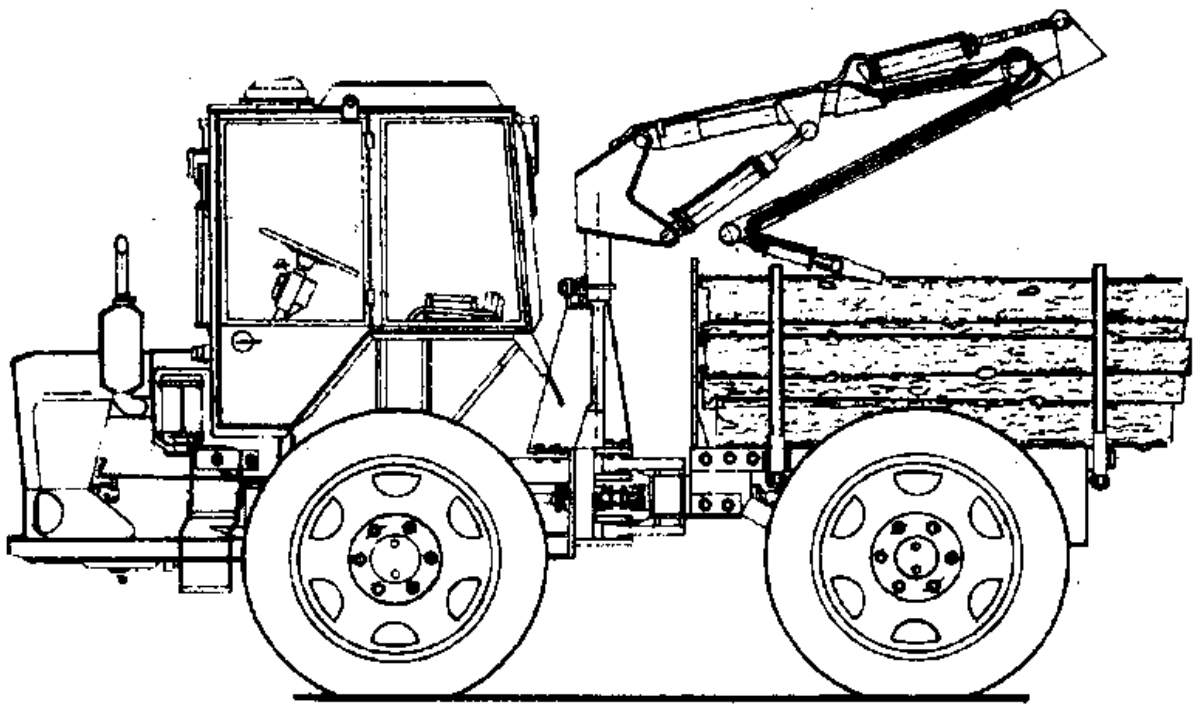


Рис. 2. Форвардер на базе трактора Т-25-АЛ

При движении по лесному волоку трактор совершает сложные колебательные движения, где определяющими являются вертикальные колебания. Величина вертикальных ускорений в значительной степени влияет как на условия работы оператора, так и на динамические нагрузки трактора. Это обстоятельство заставляет оператора снижать скорость, что в свою очередь увеличивает время грузового и холостого ходов и, как следствие уменьшает сменную производительность.

В данной работе будет показано как влияет способ трелевки на величину вертикальных ускорений переднего моста трактора (место возможной установки сидения водителя).

Используя математический аппарат, который приводится в работах [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7] для определения вертикальной динамики малогабаритного колесного трактора получим амплитудно-частотные характеристики вертикальных ускорений переднего моста трактора для различных способов трелевки (рис. 2.а). На рис. 2.б показаны энергетические спектры вертикальных ускорений переднего моста так же при разных способах трелевки.

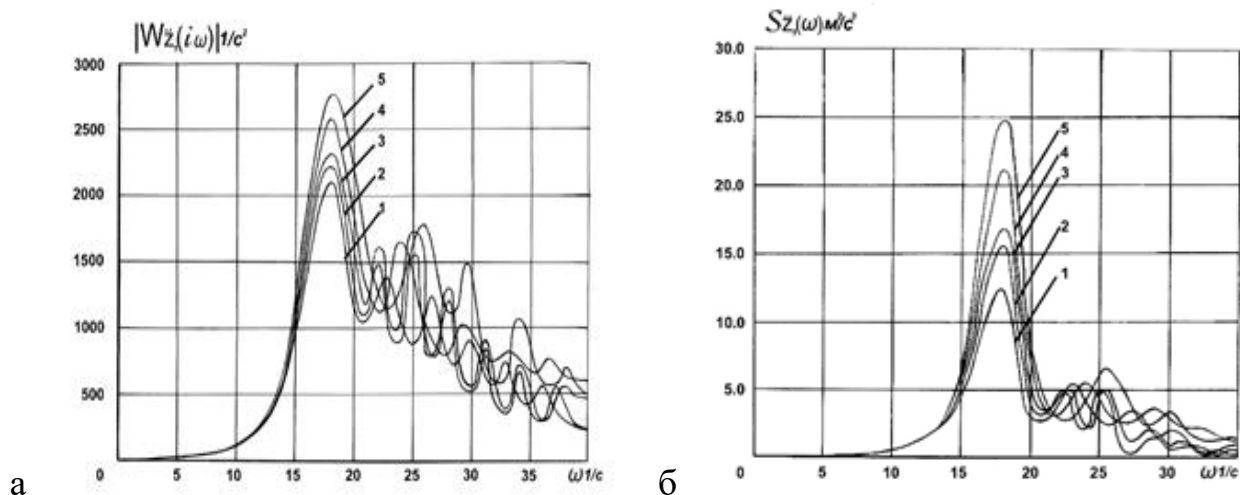


Рис. 3. Амплитудно-частотные характеристики и энергетические спектры вертикальных ускорений переднего моста трактора в зависимости от способов трелёвки (а – амплитудно-частотная характеристика вертикальных ускорений переднего моста трактора; б – энергетические спектры вертикальных ускорений моста трактора)

Исследовались следующие способы трелёвки: в полуподвешенном положении (1), в полупогруженном вершинами в перед (2), в полупогруженном комлями вперед (3), без груза (холостой ход) (4), вывозка сортиментов (5).

Оценку плавности хода удобно проводить по среднеквадратическим значениям ускорений $\sigma_{\ddot{z}_1}$, которые определяются по следующей формуле:

$$\sigma_{\ddot{z}_1} = \sqrt{D_{\ddot{z}_1}}, \quad \text{где,} \quad D_{(\ddot{z}_1)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S_{\ddot{z}_1}(\omega) d\omega$$

На рис. 4. изображен график изменения среднеквадратических значений вертикальных ускорений переднего моста трактора Т-25АЛ в зависимости от способа трелёвки леса. Из рисунка 4 видно, что значение среднеквадратических вертикальных ускорений весом отличаются от способа трелёвки и технологического оборудования. Так, если пачка леса находится в полуподвешенном положении $\sigma_{\ddot{z}_1}$, составляет приблизительно 1,3 м/с², тогда как у форвардера всего 0,1-0,2 м/с².

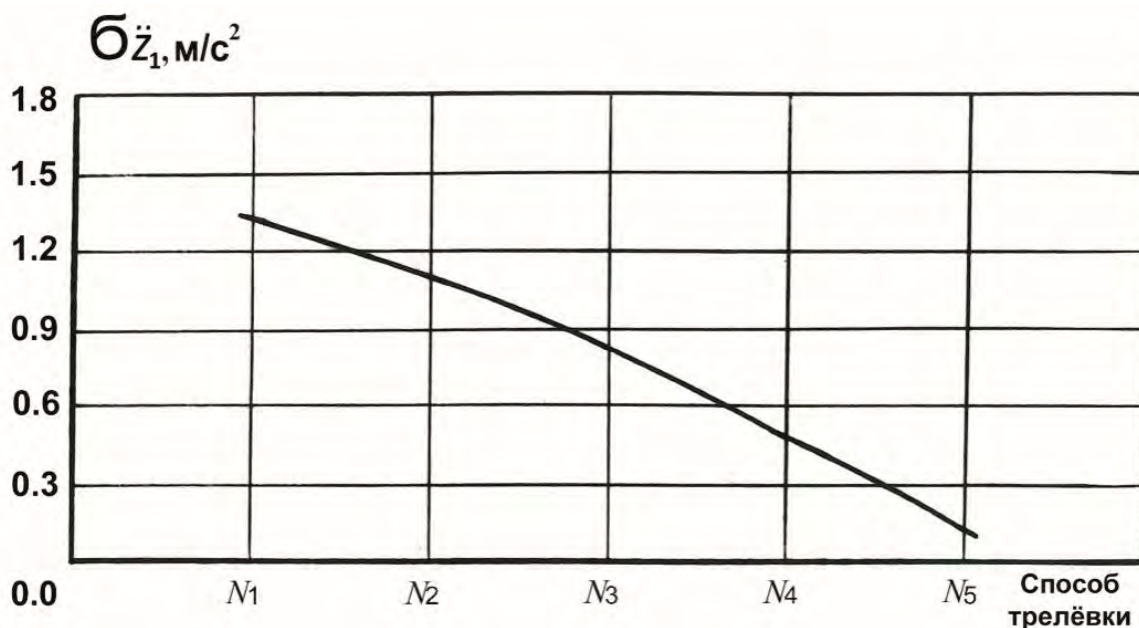


Рис. 4. График изменений значений σ_{z_1} в зависимости от способа трелёвки: № 1 – трелёвка пачки хлыстов в полуподвешенном положении; № 2 – трелёвка пачки хлыстов в полупогруженном положении вершиной вперёд; № 3 – трелёвка пачки хлыстов в полупогруженном положении комлем вперёд; № 4 – перемещение трактора без груза; № 5 – вывозка сортиментов

Заключение

Как видно из результатов исследований, лесной волчок возбуждает целый спектр колебательных процессов. Ширина и диапазон частот колебаний зависит от скорости движения трактора и способа трелёвки. На основании анализа полученных данных можно выбрать оптимальный способ трелёвки леса и соответствующее ему технологическое оборудование лесосечных колесных машин.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований могут быть использованы при создании новых и модернизации, существующих колесных лесосечных машин с различным технологическим оборудованием.

Библиографический список

1. Козьмин С.Ф. Трактор т-25АЛ с шарнирной рамой в лесном хозяйстве: методические указания для самостоятельной работы студентов направления подготовки 35.03.01 «Лесное дело» / С.Ф. Козьмин.- СПб.: СПбГЛТУ, 2019.-76 с.
2. Козьмин С.Ф. Исследование компоновки лесохозяйственного колёсного трактора класса тяги 6 кН: учебное пособие / С.Ф. Козьмин, - СПб.: СПбЛТА, 1982. – 44 с.
3. Орлов С.Ф., Жуков А.В., Козьмин С.Ф. Спектральная теория поддрессоривания специальных лесных машин. Методические указания по выполнению лабораторных работ. - Л.: ЛТА.1980. - 30 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для вузов / Е.С. Вентцель. - М.: Наука, 1969.- 576 с.

5. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.
6. Лурье А.Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов / А.Б. Лурье, - М.: Колос, 1970. - 376 с.
7. Жуков А.В. Колебания лесотранспортных машин / А.В. Жуков, И.И. Леонович. - Минск,: БГУ им. Ленина, 1973. - 240 с.

Сведения об авторах

ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru
ФИО	Дурманов М.Я.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3809-9956
e-mail	Durmanov130266@rambler.ru
ФИО	Зверев И.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код отсутствует
e-mail igorzv1997@gmail.com

Аннотация

При проектировании лесотранспортных машин необходимо стремиться к наименьшим значениям энергетических спектров. Так как спектральная плотность воздействия зависит только от качества лесного волокна и скорости движения, а амплитудно-частотные характеристики – от конструкции машин в целом, следовательно, изменять энергетические спектры можно только за счет изменения конструкции машины. С помощью спектральной теории поддрессоривания решаются практические задачи проектирования лесотранспортных машин. Особенно важной является возможность прогнозирования и конкретного получения оптимальных компоновочных параметров технологического оборудования транспортной систем для данных условий эксплуатации.

Ключевые слова: трактор Т-25АЛ, среднеквадратические ускорения, амплитудно-частотная характеристика, энергетические спектры, внешнее воздействие, колёсный трактор, компоновка, рубки ухода.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Методика определения статистических характеристик микропрофиля лесного волокна

**Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А.,
Мартынов Б.Г., Тарадин Г.С, Дурманов М.Я., Тюрина М.С.**

Введение.

При изучении колебаний колесных лесосечных машин, при исследовании вертикальной динамики этих машин, а также при построении динамических моделей различных лесных систем, необходимо иметь данные о микропрофиле лесного волокна.

Микропрофиль лесного волокна рассматривается как случайная функция и удовлетворяющая следующим допущениям: функция стационарна и эргодична, ординаты микропрофиля подчиняются нормальному закону распределения.

Статическая обработка данных микронеровностей лесных волокон Республики Карелии позволила Онежскому тракторному заводу построить полигон-волок, где успешно проводились испытания всех макетных и опытных

образцов этого предприятия [1]. В этой работе рассматривается лесной волок в массиве Лисинского лесхоза Ленинградской области длиной 180 м.

При статистической обработке данных микропрофиля лесного волок определяются основные характеристики: математическое ожидание и дисперсия. Но эти характеристики не дают достаточного представления о том, какой характер будут иметь отдельные реализации случайного процесса. Для определения связи отдельных реализаций вводится понятие о корреляционной функции [2, 3, 4].

Корреляционная функция характеризует степень зависимости между ординатами случайной функции, относящимися к различным значениям времени. Случайная функция, описывающая микропрофиль, может быть выражена функцией времени (рис. 1). Тогда она обозначается $H(t)$, а значения случайной функции $H(t)$ обозначаются h_{ti} [5, 6, 7].

Рассмотрим два сечения микропрофиля лесного волок относящихся к различным моментам времени: t_1 и t_2 , где $t_2 = t_1 + \tau$ (τ — интервал измерения). Каждому моменту времени будут соответствовать значения случайной функции h_{t_1} и $h_{t_1+\tau}$. При близких значениях t_1 и $t_1 + \tau$ (т. е. при малых значениях τ), h_{t_1} и $h_{t_1+\tau}$ связаны тесной зависимостью, а при увеличении τ зависимость между h_{t_1} и $h_{t_1+\tau}$ будет убывать.

Степень зависимости величин h_{t_1} и $h_{t_1+\tau}$ характеризуется корреляционным моментом, который является функцией двух аргументов t_1 и $t_1 + \tau$.

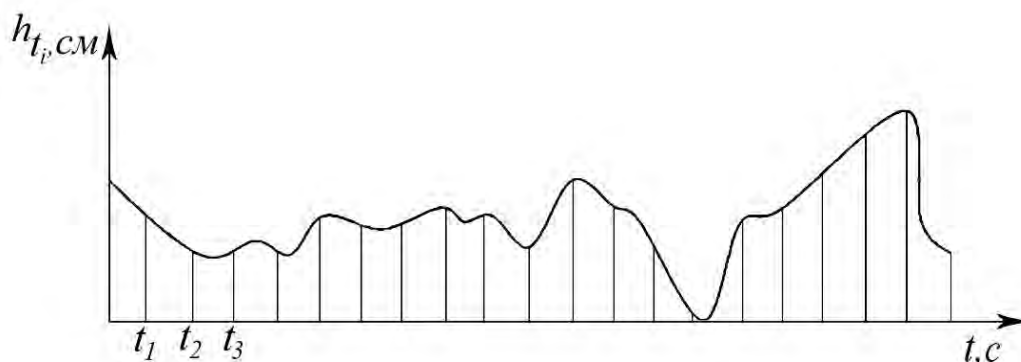


Рис. 1. Фрагмент реализации микропрофиля лесного волок $H(t)$

Таким образом, корреляционная функция для данной реализации — это неслучайная функция двух аргументов, которая при каждой паре значений t_1 и $t_1 + \tau$ равна корреляционному моменту соответствующих сечений случайной функции [4].

Корреляционная функция обозначается $R(\tau)$ и определяется по формуле:

$$R(\tau) = \frac{1}{N - m} \sum_{i=1}^{i=N} [h_{t_i} - m_H] [h_{(t_i+\tau)} - m_H]$$

где $h_{\tau_i} - m_H = H_{0\tau_i}$ – значение центрированной случайной величины в момент времени t_i ; $h_{(t_i+\tau)} - m_H = H_{0(t_i+\tau)}$ – значение центрированной случайной величины в момент времени $t_i + \tau$; $m = 0, 1, 2, \dots, 180$.

При сравнительном анализе результатов удобнее пользоваться безразмерными величинами. В связи с этим, корреляционная функция преобразовывается в нормированную корреляционную функцию $\rho(\tau)$ и определяется по формуле:

$$\rho(\tau) = \frac{R(\tau)}{R(0)},$$

где $R(0)$ – дисперсия случайной величины.

Для вычисления спектральных плотностей корреляционная функция микропрофиля лесного волокна, аппроксимируется следующим выражением:

$$\rho(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau,$$

где α и β – коэффициенты корреляционной связи; α – характеризует интенсивность затухания корреляционной функции; β – характеризует частоту случайного процесса.

Используя известные выражения:

$$\beta = \frac{k\pi}{2\pi k}; \quad \alpha = \frac{\beta}{\pi} \ln \left| \frac{R(0)}{R_m(-\tau_2)} \right|,$$

и экспериментальные данные получаем $\beta=0,71$ 1/с, $\alpha=0,15$ 1/с.

Спектральная плотность воздействия лесного волокна $\Phi(\omega)$ служит характеристикой случайного преобразования Фурье аналитического выражения корреляционной функции:

$$\Phi(\omega) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) e^{-i\omega\tau} d\tau,$$

где $R(\tau) = R(0)\rho(\tau)$, а $\rho(\tau) = e^{-\alpha|\tau|} \cos \beta\tau$.

Далее подставляются значения корреляционной функции и после интегрирования получаем расчетную формулу для вычисления значений спектральной плотности воздействия:

$$\Phi(\omega) = R(0) \frac{\alpha}{\pi} \frac{\alpha^2 + \omega^2 + \beta^2}{(\alpha^2 + \omega^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2 \beta^2}$$

В табл. 1 приведены значения коэффициентов α и β для различных скоростей движения колесной лесотранспортной системы Т-25АЛ.

Таблица 1. Коэффициенты α и β для различных скоростей движения колёсного трактора Т-25АЛ

Коэффициенты	Скорость движения трактора
--------------	----------------------------

СВЯЗИ	v=1,1 м/с	v=1,25 м/с	v=1,83 м/с	v=2,23 м/с
α	0,17	0,23	0,27	0,33
β	0,78	1,06	1,28	1,57

Данные вычисленных значений спектральной плотности воздействия $\Phi(\omega)$ для четырех скоростей движения лесотранспортной системы сведены в табл. 2.

Таблица 2. Значения спектральной плотности воздействия $\Phi(\omega)$

$\omega, 1/c$	$\Phi(\omega) = R(0) \frac{\alpha}{\pi} \frac{\alpha^2 + \omega^2 + \beta^2}{(\alpha^2 + \omega^2 - \beta^2)^2 + 4\alpha^2\beta^2}, \text{ см}^2/c$			
	v=1,1 м/с	v=1,25 м/с	v=1,83 м/с	v=2,23 м/с
0	0,51	0,37	0,27	0,24
1	2,14	4,13	1,78	0,94
2	0,13	0,28	0,45	1,12
3	0,05	0,07	0,10	0,16
4	0,02	0,03	0,03	0,06

На рис. 2. приведены энергетические спектры воздействия лесного волокна для различных скоростей движения.

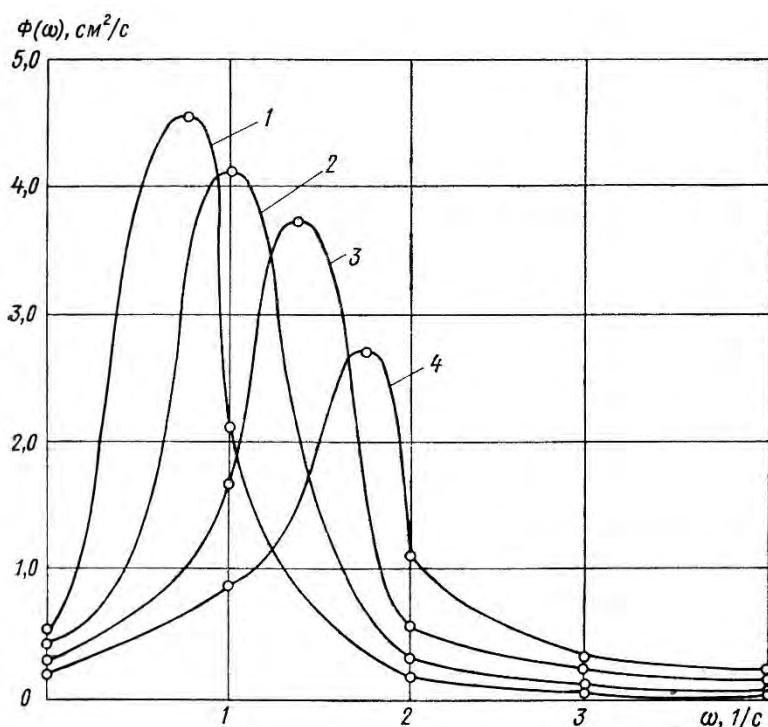


Рис. 2. Энергетические спектры воздействия лесного волокна: 1 – $v = 1,10$ м/с; 2 – $v = 1,50$ м/с; 3 – $v = 1,83$ м/с; 4 – $v = 2,23$ м/с.

Заключение

Как видно из графиков, лесной волок возбуждает целый спектр колебаний. Ширина диапазона частот зависит от скорости движения трактора. Максимального значения спектральная плотность достигает при $\omega = \beta$.

По мере увеличения скорости движения величины значений максимума спектральной плотности уменьшаются и смещаются в сторону больших частот, а спектр становится близким к белому спектру, т. е. такому, в котором нет преобладания каких-либо частот. Надо отметить, что степень приближения к такому спектру зависит не только от скорости движения трактора, но и от длины неровностей волока. Предложенная методика может широко использоваться на стадии проектирования колесных лесосечных машин.

Библиографический список

1. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля. Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук. - Л.: ЛТА, 1986.- 198 с.
2. Козьмин С.Ф. Трактор Т-25АЛ с шарнирной рамой в лесном хозяйстве: методические указания для самостоятельной работы студентов направления подготовки 35.03.01 «Лесное дело» / С.Ф. Козьмин.- СПб.: СПбГЛТУ, 2019.-76 с.
3. Козьмин С.Ф. Исследование компоновки лесохозяйственного колёсного трактора класса тяги 6 кН: учебное пособие / С.Ф. Козьмин, - СПб.: СПбЛТА, 1982. – 44 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для вузов / Е.С. Вентцель. - М.: Наука, 1969.- 576 с.
5. Орлов С.Ф., Жуков А.В., Козьмин С.Ф. Спектральная теория поддрессирования специальных лесных машин. Методические указания по выполнению лабораторных работ. Л., ЛТА. 1980. 30 с.
6. Добрынин Ю.А. Исследования параметров трелевочных волоков как системы случайных волоков В сб. «Машины и орудия для механизации лесозаготовок». Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 5. 1976, с. 17-20.
7. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с.

Сведения об авторах

ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru
ФИО	Мартынов Б.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lesbisnes@mail.ru
ФИО	Дурманов М.Я.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3809-9956
e-mail	Durmanov130266@rambler.ru
ФИО	Тюрина М.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6582-0730
e-mail	turinamaria2017@yandex.ru

Аннотация

Основным внешним воздействием при движении трелёвочного трактора в лесном массиве является микропрофиль лесного волока. Приведена методика по определению статистических характеристик микропрофиля лесного волока, предназначенного для производственных и научных исследований колёсных тракторов с шарнирной рамой. Определены статистические характеристики микропрофиля лесного волока – корреляционная функция $R(\tau)$ и спектральная плотность воздействия $\Phi(\omega)$. Полученные данные имеют практическое значение на стадии проектирования и при дальнейшем производстве колёсных тракторов с шарнирной рамой.

Ключевые слова: микропрофиль, статистические характеристики, случайный процесс, корреляционная функция, корреляционный момент, спектральная плотность, внешнее воздействие, колёсный трактор, рубки ухода.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Исследование вертикальной динамики малогабаритного колёсного трактора

**Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А.,
Тарадин Г.С, Дурманов М.Я., Зверев И.А.**

Введение

Лесное хозяйство в настоящее время испытывает острую потребность в маневренных и высоко проходимых тракторах, которые бы использовались на рубках ухода, работая под пологом леса. Такие машины могли бы найти широкое применение и на главных рубках при вывозке низкотоварной древесины и в качестве второго форвардера.

На стадии проектирования любой транспортной машины желательно иметь данные о вертикальных колебаниях. Это необходимо для расчета динамических нагрузок на ходовую часть трактора и для создания комфортных условий работы оператора.

На рис. 1. изображена расчетная схема вертикальных колебаний колесного трактора Т-25АЛ при движении по лесному волоку.

Вертикальные колебания малогабаритного трактора в транспортном режиме по лесному волоку с пачкой хлыстов могут быть описаны уравнениями Лагранжа второго рода [1, 2, 3].

Решая уравнения Лагранжа, получаем дифференциальные уравнения исследуемой колебательной системы. С помощью преобразования Лапласа дифференциальные уравнения действительного переменного t заменяем алгебраическими уравнениями комплексного переменного s .

Систему уравнений решим матричным методом и определим передаточную функцию для переднего моста трактора.

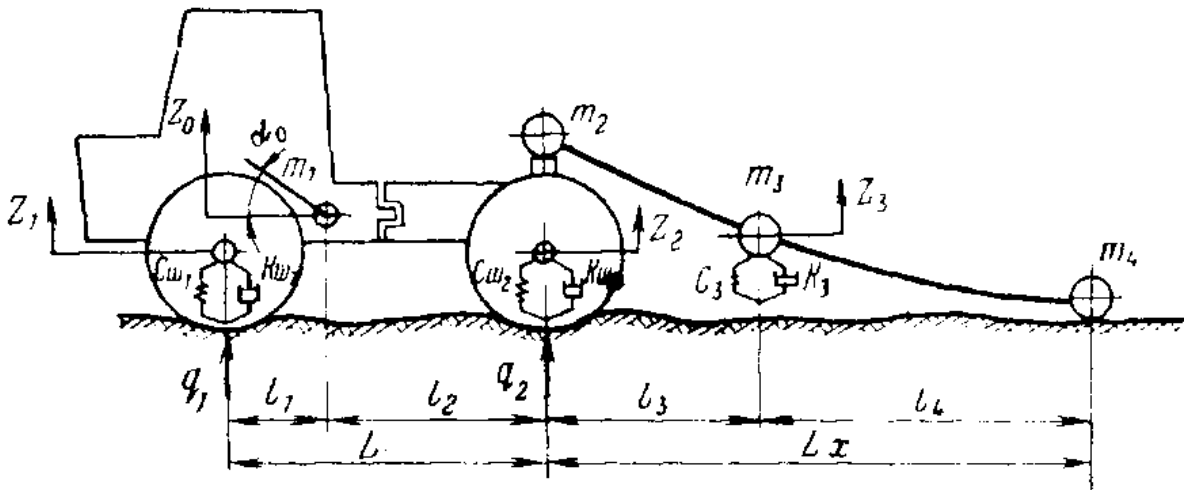


Рис. 1. Расчетная схема вертикальных колебаний трактора Т-25АЛ с пачкой хлыстов

Для определения частотных характеристик рассматриваемой трелевочной системы необходимо перейти от преобразования Лапласа к преобразованию Фурье, для чего достаточно допустить, что комплексное число S равно ∞ .

Произведя указанную операцию с преобразованием, получим формулу для определения амплитудно-частотной характеристики.

Для удобства записи введем некоторые обозначения и после преобразований получаем:

$$\Delta z_1(i\omega) = D_\omega + iC_\omega$$

$$\Delta(t\omega) = M_\omega + iN_\omega,$$

Выражение для определения амплитудно-частотной характеристики вертикальных перемещений переднего моста трактора (т. е. места возможной установки сидения водителя) $W_{z_1}(i\omega)$ выразится уравнением:

$$W_{z_1}(i\omega) = \frac{D_\omega + iC_\omega}{M_\omega + iN_\omega},$$

В практических расчетах чаще приходится иметь дело с амплитудной (модульной) характеристикой $|W_{z_1}(i\omega)|$.

$$|W_{z_1}(i\omega)| = \sqrt{\frac{D_\omega^2 - C_\omega^2}{M_\omega^2 + N_\omega^2}},$$

Важно отметить, что модуль вектора амплитудно-частотной характеристики представляет собой отношение амплитуд вынужденных колебаний к амплитудам воздействия.

Амплитудно-частотная характеристика вертикальных ускорений переднего моста трактора выразится уравнением:

$$|W_{\ddot{z}_1}(i\omega)| = \omega^2 |W_{z_1}(i\omega)|,$$

Итак, после получения статистических характеристик воздействия и динамических характеристик, можно перейти к спектральному анализу трелёвочного трактора Т-25АЛ в транспортном режиме по лесному волоку при трелёвке леса от рубок ухода.

Для этой цели используется формула, которая, в случае определения спектральной плотности вертикальных ускорений транспортной системы, будет иметь вид:

$$S_{\ddot{z}_1}(\omega) = |W_{\ddot{z}_1}(i\omega)|^2 \Phi(\omega),$$

На рис. 2 представлены энергетические спектры вертикальных ускорений переднего моста трактора в зависимости от скорости движения.

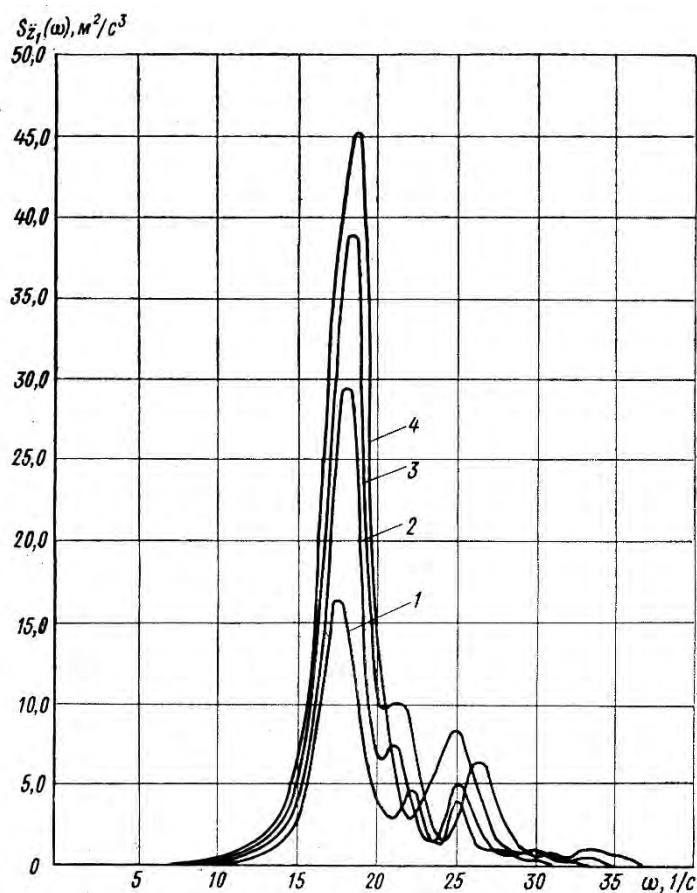


Рис. 2. Энергетические спектры вертикальных ускорений $S_{\ddot{z}_1}(\omega)$ (а) переднего моста трактора Т-25АЛ в транспортном режиме по лесному волоку с пачкой леса ($Q = 1,3 \text{ м}^3$): 1 — $v = 1,10 \text{ м/с}$; 2 — $v = 1,50 \text{ м/с}$; 3 — $v = 1,83 \text{ м/с}$; 4 — $v = 2,23 \text{ м/с}$;

Имея частотные характеристики динамической системы и спектральные плотности воздействия, можно решать различные задачи, связанные с колебаниями. Определим выражение для спектральной плотности вертикальной реакции на мост трактора при перемещении лесотранспортной системы по лесному волоку.

Оценку плавности хода удобно производить по среднеквадратическим значениям $\sigma_{\ddot{z}_1}$ [3, 4, 5]. Среднеквадратические значения $\sigma_{\ddot{z}_1}$ определяются по следующим формулам:

$$\sigma_{\ddot{z}_1} = \sqrt{D_{\ddot{z}_1}},$$

где,

$$D_{(\ddot{z}_1)} = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} S_{\ddot{z}_1}(\omega) d\omega$$

На рис. 3 показаны изменения значений среднеквадратических значений вертикальных ускорений $\sigma_{\ddot{z}_1}$ в зависимости от параметров трактора в транспортном режиме по лесному волоку.

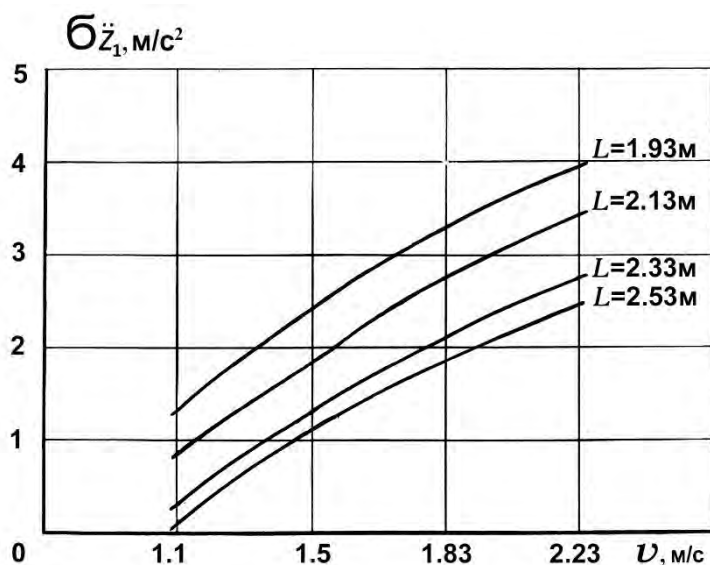


Рис. 3. Изменение значений среднеквадратических ускорений переднего моста трактора $\sigma_{\ddot{z}_1}$ в зависимости от скорости движения v и базы трактора L

Заключение

В процессе работы трактора в тяжёлых лесных условиях необходимо создать комфортные условия для оператора и уменьшить динамические нагрузки на ходовую часть трактора. На основании анализа графиков, изображенных на рис. 3, выбирается важный конструктивный параметр трактора: база трактора L и оптимальный режим движения лесотранспортной машины по лесному волоку. Полученные результаты могут быть использованы при совершенствовании конструкции колесных лесохозяйственных тракторов и при разработке модификаций машин с различным технологическим оборудованием при проведении рубок ухода.

Библиографический список

1. Козьмин С.Ф. Трактор т-25АЛ с шарнирной рамой в лесном хозяйстве: методические указания для самостоятельной работы студентов направления подготовки 35.03.01 «Лесное дело» / С.Ф. Козьмин.- СПб.: СПбГЛТУ, 2019.-76 с.
2. Козьмин С.Ф. Исследование компоновки лесохозяйственного колёсного трактора класса тяги 6 кН: учебное пособие / С.Ф. Козьмин, - СПб.: СПбЛТА, 1982. – 44 с.

3. Орлов С.Ф., Жуков А.В., Козьмин С.Ф. Спектральная теория подрессоривания специальных лесных машин. Методические указания по выполнению лабораторных работ. - Л.: ЛТА.1980. - 30 с.
4. Вентцель Е.С. Теория вероятностей: учебник для вузов / Е.С. Вентцель. - М.: Наука, 1969.- 576 с.
5. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля / Р.В. Ротенберг. – М.: Машиностроение, 1972. – 392 с

Сведения об авторах

ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru
ФИО	Дурманов М.Я.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3809-9956
e-mail	Durmanov130266@rambler.ru
ФИО	Зверев И.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации университет имени С.М. Кирова
194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail igorzv1997@gmail.com

Аннотация

При проектировании лесотранспортных машин необходимо стремиться к тому, чтобы иметь наименьшие значения энергетических спектров. Так как спектральная плотность воздействия зависит только от качества лесного волокна и скорости движения, а амплитудно-частотная характеристика от конструкции машин в целом, следовательно, изменить энергетические спектры можно только за счет изменения конструкции машин. С помощью спектральной теории подрессоривания могут быть решены многие практические задачи при проектировании лесотранспортных машин. Особенно важной является возможность прогнозирования и получения оптимальных компоновочных параметров транспортной систем для конкретных условий эксплуатации.

Ключевые слова: уравнения Лагранжа, энергетические спектры, амплитудно-частотные характеристики, среднеквадратические ускорения; колёсный трактор, рубки ухода.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Результаты экспериментальных исследований колесного скиддера ТЛК-1

**Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Андронов А.В.,
Козьмин С.Ф., Кривоногова А.С., Зверев И.А.**

Введение

Исследовательские испытания нагруженности трансмиссии лесопромышленного трактора, работающего без ограничений на лесосеке, является до сих пор сложной исследовательской задачей. Основные ограничения, снижающие эффективность экспериментальных исследований лесосечных гусеничных и колесных машин – неудовлетворительная надежность приборов и нестабильность работы аппаратуры в целом.

Была разработана аппаратура, которая позволяет регистрировать крутящий момент в пяти точках трансмиссии, а именно на карданном валу и на полуосях. Кроме крутящих моментов в трансмиссии измерялись и регистрировались углы поворота полуосей и карданной передачи, частота вращения коленчатого вала и время протекания процессов. Следует отметить простоту электрической схемы измерительной аппаратуры, высокую точность измерения, малую стоимость

приборов, исключительно высокую надежность и стабильность в работе, возможность визуальной оценки измеряемого параметра. В данной статье будет приведен анализ результатов исследований нагруженности трансмиссии.

Испытания проходили на полигоне – волоке ОТЗ, длиной 1500 м и разбитым на 15 равных пикетов. В плане полигон напоминает цифру «8» [1].

Исследования показали, что уровень нагруженности задних полуосей на II передаче примерно одинаков, на III передаче правая полуось нагружена больше левой. В целом за рейс нагруженность полуосей около 2,0 кНм, а максимальные значения достигают 4,4 кНм.

Нагруженность полуосей переднего моста в среднем на 30% ниже, чем заднего, и имеет совершенно иной характер изменчивости, предопределяемой величиной среднеквадратичного отклонения σ .

Величина σ крутящего момента полуосей переднего моста в 2...3 раза ниже, чем у заднего, вследствие чего их кривые распределения островершинны, обладают большей крутостью. Такой специфический характер распределения рядов крутящего момента полуосей переднего и заднего мостов в основном определяется существенной неравномерностью осевых нагрузок.

Правая полуось переднего моста имеет нагруженность на передачах в целом за рейс на 30% большую, чем левая, то есть так же, как и правая задняя. Объяснением этому могут служить условия выполнения правых поворотов на волоке полигона.

Данные таблицы 1 дают представление о средних значениях крутящего момента на полуосях по пикетным участкам волока и на используемых передачах.

Анализ этих данных с учетом плана волока позволяет судить о распределении крутящих моментов на полуосях при прохождении поворотов. Так, например, при прохождении крутых правых поворотов (ПК 1-2 и 15-0) превалирует крутящий момент на правых полуосях, на левых поворотах (ПК 8-9) – на левых. На прямолинейных участках (ПК 5-6, 9-10 и др.) крутящие моменты на полуосях ведущих мостов примерно одинаковы или различаются несущественно. В табл. 1 также приводятся максимальные значения крутящих моментов на полуосях, зарегистрированных при испытаниях.

Таблица 1. Нагруженность крутящим моментом полуосей трактора ТЛК-1 на передачах при трелевке пачки 7 м³ по волоку полигона

Участки волока	Передачи	Время, сек.	Средние значения, кНм				Максимальные значения, кНм				Средние	
			Задние		Передние		Задние		Передние		$M_{\text{ПО}}^{\text{КВ}}$, кНм	$M_{\text{ПО}}^{\Sigma}$, кНм
			Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая	Правая	Левая		
0-4	III	114	1,30	0,52	1,32	0,93	3,30	2,03	2,71	2,20	4,09	3,49
4-5	II	18	1,19	2,93	1,19	1,39	2,86	4,69	2,23	2,20	6,70	7,16
5-7	III	116	1,50	1,15	1,29	1,17	2,42	3,37	2,23	1,76	5,11	4,37
7-10	II	144	1,64	1,97	1,12	0,95	4,18	4,25	2,23	2,20	5,68	6,32
10-12	III	58	1,30	1,16	1,13	0,71	3,30	2,93	2,23	1,32	4,30	3,87
12-13	II	30	2,64	2,99	1,21	1,05	4,18	4,69	1,83	2,20	7,89	9,05
13-14	III	42	0,96	0,32	1,12	0,51	1,98	2,05	1,83	1,32	2,91	2,56
14-0	II	49	2,69	1,68	1,59	0,86	4,18	2,93	2,71	2,20	6,82	7,26
ΣII		241	1,94	2,10	1,23	0,98	4,18	4,69	2,71	2,20	6,25	6,91
ΣIII		330	1,40	0,83	1,26	0,94	3,30	3,37	2,71	2,20	4,43	3,76
За рейс		571	1,63	1,37	1,25	0,95	4,18	4,69	2,71	2,20	5,20	5,07

Регистрация крутящего момента на карданном валу и на полуосях позволяет сопоставить крутящий момент карданного вала, приведенный на соответствующих передачах к полуосям $M_{\text{по}}^{\text{КВ}}$ и обеспечивающий движение трактора, с суммарным крутящим моментом, замеренным на полуосях $M_{\text{по}}^{\Sigma}$.

Как следует из анализа этих данных, в табл.1 соответствия этих параметров нигде не наблюдается, кроме случаев движения на II передаче суммарный крутящий момент на полуосях $M_{\text{по}}^{\Sigma}$ примерно на 10% ниже, чем момент, подводимый к полуосям от карданного вала $M_{\text{по}}^{\text{КВ}}$, а на III передаче $M_{\text{по}}^{\Sigma}$ на 15% выше $M_{\text{по}}^{\text{КВ}}$. В то же время эти значения крутящих моментов в целом за рейс примерно одинаковы ($M_{\text{по}}^{\Sigma}=5,20$ кНм, $M_{\text{по}}^{\text{КВ}}=5,07$ кНм).

Несмотря на попытки решить эту парадоксальную задачу путем рассмотрения на осциллограмме мгновенных значений крутящих моментов на различных участках волока, она не удалась – эта закономерность проявляется везде. Можно предположить в качестве объяснения наличие в трансмиссии трактора с заблокированным приводом мостов циркулирующей мощности, из-за кинематического несоответствия по-разному проявляющейся в зависимости от величины реализуемой касательной силы тяги.

Математическая обработка рядов распределения крутящего момента на полуосях и полученные их статистики позволяют с высокой достоверностью оценить реальные их значения и возможную дисперсию. В табл.2 приводятся данные среднеквадратичного отклонения σ в относительных единицах разряда рядов распределения крутящих моментов ($c=440$ Нм/разр.). Эти данные показывают, что крутящие моменты на полуосях заднего моста на III передаче в 1,5, а на II передаче – более, чем в 2 раза превосходят крутящие моменты полуосей переднего моста. Кроме того, видно, что нагруженности полуосей правого и левого бортов существенно не различаются, как и следовало ожидать при «8»-образном плане волока.

Таблица 2. Значения среднеквадратичного отклонения рядов распределения крутящего момента на полуосях

Передачи	Задний мост		Передний мост	
	Правая	Левая	Правая	Левая
II	1,97	2,17	0,87	0,79
III	1,58	1,59	1,06	0,91

Как известно из вариационной статистики, среднее значение переменной для нормального ряда распределения случайной величины $M = 3c \cdot \sigma$. На основании этого свойства и полагая, что весь ряд располагается в

положительной области, были определены средние значения крутящих моментов на полуосях (табл.3).

Таблица 3. Нагруженность полуосей средним крутящим моментом (кН)

Передачи	Задний мост		Передний мост		$M_{\text{по}}^{\Sigma}$	$M_{\text{по}}^{\text{КВ}}$	%
	Правая	Левая	Правая	Левая			
II	2600	2864	1148	1043	7655	6913	10,7
III	2084	2099	1399	1201	6785	3757	80,6

Заключение.

Исследования показали, что нагруженность задних полуосей возрастает с увеличением сопротивления движению, тогда как передних полуосей снижается, так как реализуемая сила тяги ограничивается силами сцепления.

При движении трактора по относительно хорошим участкам волока на III передаче возникающая в трансмиссии циркулирующая мощность создает крутящий момент $M_{\text{по}}^{\Sigma}$, на 80,6% превосходящий момент $M_{\text{по}}^{\text{КВ}}$, необходимый для движения. В трудных условиях (на II передаче) это соотношение составляет 10,7%. С большой достоверностью можно считать, что максимальные кратковременные действующие моменты на полуосях могут достигать значений $bc \cdot \sigma$, то есть удвоенных средних значений.

Трансмиссия трактора ТЛК-1 выполнена по схеме блокированного (жестко связанного) привода ведущих мостов и, кроме того, с муфтами свободного хода в ведущих мостах, выполняющими функции межколесных дифференциалов.

Такая трансмиссия подвержена воздействию циркулирующей («паразитной») мощности вследствие кинематического несоответствия параметров шин и микропрофиля дороги, что и показали испытания. Такие ведущие мосты подходят для сельскохозяйственных тракторов, а не для лесосечных машин.

Библиографический список

1. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля. Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, Л.: ЛТА, 1986. – 198 с.

Сведения об авторах

ФИО Михайлов О.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации
SPIN-код 4681-4898
e-mail kerro07@mail.ru

ФИО Тарадин Г.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации
SPIN-код 5247-6595
e-mail grisha190@mail.ru

ФИО Андронов А.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации
SPIN-код 8345-3722
e-mail andronovalexandr@gmail.com

ФИО Козьмин С.Ф.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации
SPIN-код 6778-0352
e-mail cozminsf@yandex.ru

ФИО Кривоногова А.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации
SPIN-код 8399-6121
e-mail krivonoqova.aleksandra@lta-landscape.com

ФИО Зверев И.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код отсутствует
e-mail igorzv1997@gmail.com

Аннотация

Приведены результаты экспериментальных исследований нагруженности трансмиссии колесного скиддера ТЛК-1. Проанализирована работа трансмиссии трактора ТЛК-1 с заблокированным приводом ведущих мостов и с муфтами свободного хода в условиях лесосеки.

Ключевые слова: колесный скиддер, трелевочный трактор, циркулирующая мощность, кинематическое несоответствие, полуось, крутящий момент, карданный вал.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Минимизация расходов при выполнении транспортных работ

**Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А.,
Тарадин Г.С., Мартынов Б.Г., Андронов А.В., Тюрина М.С.**

Введение

В лесном хозяйстве достаточно большая доля работ приходится на рубки ухода. Эти рубки позволяют давать значительное количество древесины, которая в дальнейшем может широко использоваться, но часто деревья остаются на месте повала. Аналогичная ситуация наблюдается и с низкотоварной древесиной от главных рубок.

Решение этих задач должно вестись по двум направлениям одновременно. Первое, создание цехов для переработки этой древесины. Например, по производству тарной дощечки, технологической щепы, товаров народного потребления, дров для населения и др. И второе направление, это наличие современной техники, которая могла бы осуществлять вывозку древесины от рубок ухода и низкотоварной древесины от главных рубок до потребителя без перегрузки. Примером такой техники может служить Т-25АЛ созданный в СПбГЛТУ им.С.М. Кирова (Рис 1.).

Эта машина спроектирована с широким использованием узлов и агрегатов от сельскохозяйственного трактора Т-25. Трактор малогабаритный, что позволяет ему работать на рубках ухода под пологом леса. При этом за счет шарнирно-сочлененной рамы трактор имеет хорошую маневренность и достаточную грузоподъемность. Колесная формула 4х4 обеспечивает трактору высокую проходимость на грунтах с низкой несущей способностью [1, 2, 3].

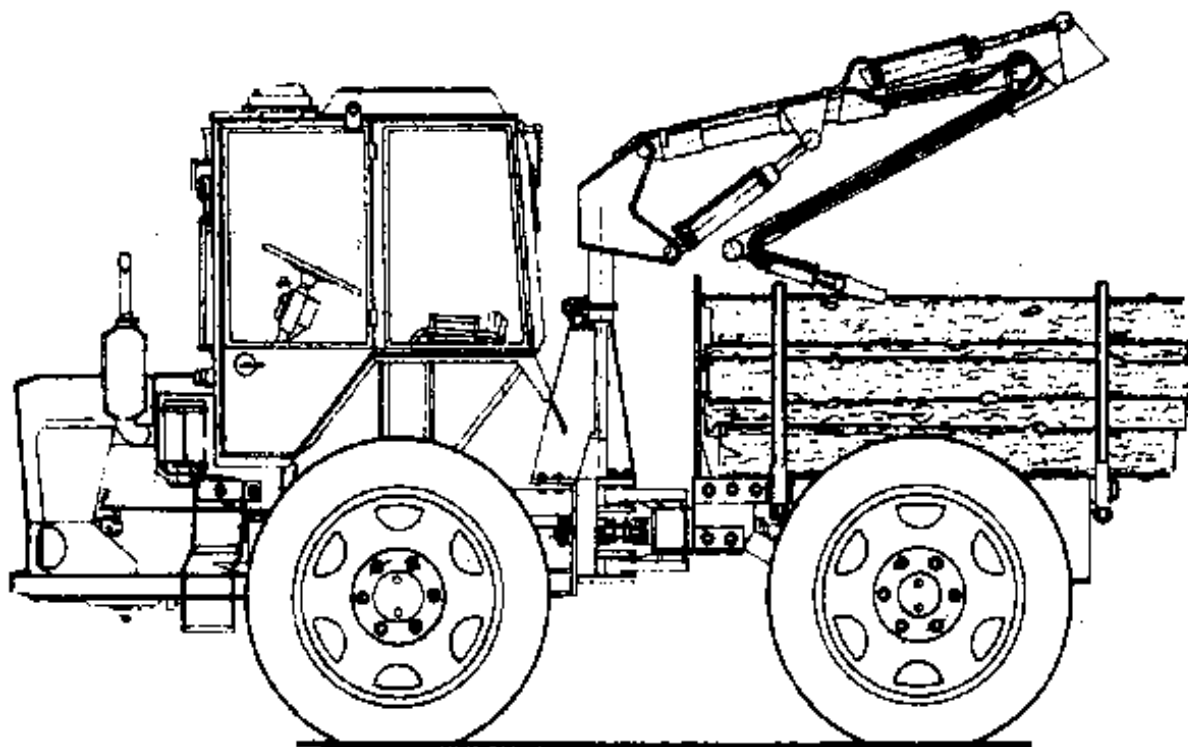


Рис. 1. Трактор Т-25АЛ-форвардер

Рассмотрим пример использования древесины от рубок ухода в различных цехах переработки. Вывозку древесины и транспортировку сырья потребителю будем осуществлять форвардером Т-25АЛ [7]. Необходимо составить план перевозок лесных грузов, при котором удовлетворяются все потребители, и при этом, суммарные затраты на перевозку минимизированы [4,5,6]. Следовательно, целевая функция задачи имеет вид:

$$\min \sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^n C_{il} X_{il}, \quad (1)$$

где C_{il} – стоимость перевозки продукта из i -го пункта производителя в l -ый пункт потребителя (сток), руб/м³ (постоянная на всём пути следования); X_{il} – количество продукта, перевозимое из i -го пункта производства в l -ый пункт потребления; $i \in I$, где I – список всех пунктов сети; $l \in L$, где L – список всех связей.

Производители проводят рубки ухода (a_i – объём поставок) и заготавливают сортименты $L_c = 2,0$ м. Потребители производят тарную дощечку, товары народного потребления, дрова для населения, технологическую щепу (b_i – объём потребления). Стоимость перевозки продукции на всем протяжении пути постоянная.

Целевая функция задачи – это сумма произведений всех соответствующих элементов матрицы инциденций:

$$(X_{14}, X_{15}, X_{16}, X_{17}, X_{24}, X_{25}, X_{26}, X_{27}, X_{34}, X_{35}, X_{36}, X_{37}) \Rightarrow X_{il},$$

где X – неизвестный размер грузопотока по связи (м^3); 700, 2000, ..., 400 руб/ м^3 – затраты на единицу грузопотока $\Rightarrow C_{il}$.

Требуется найти значения X_{il} , чтобы достигался минимум целевой функции.

Введем систему ограничений задачи и составим сетевой график (рис. 2.)

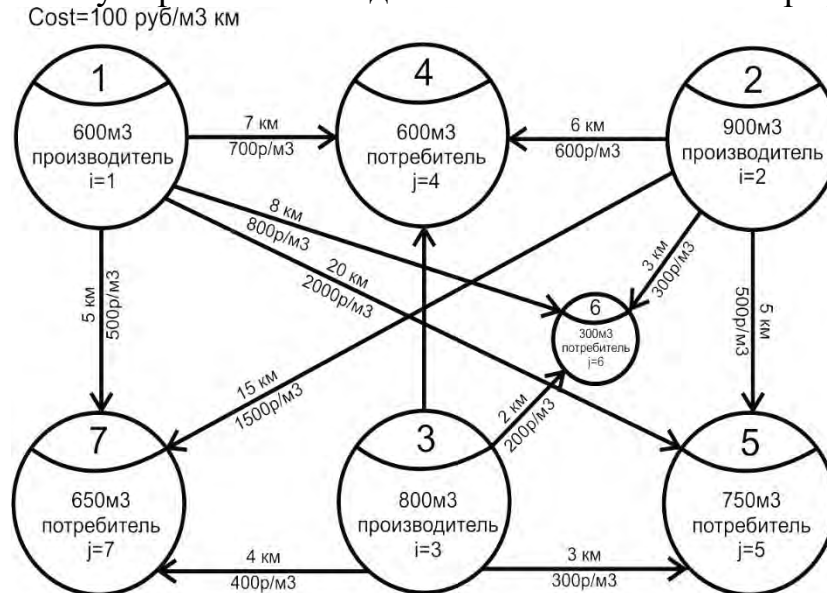


Рис. 2. Сетевой график

Задачу решаем методом линейного программирования, используется русифицированная версия пакета ПЛП88. Далее составляется матрица исходных данных (матрица инцидентий). При составлении матрицы инцидентий необходимо соблюдать правило, представленное на рис. 3.

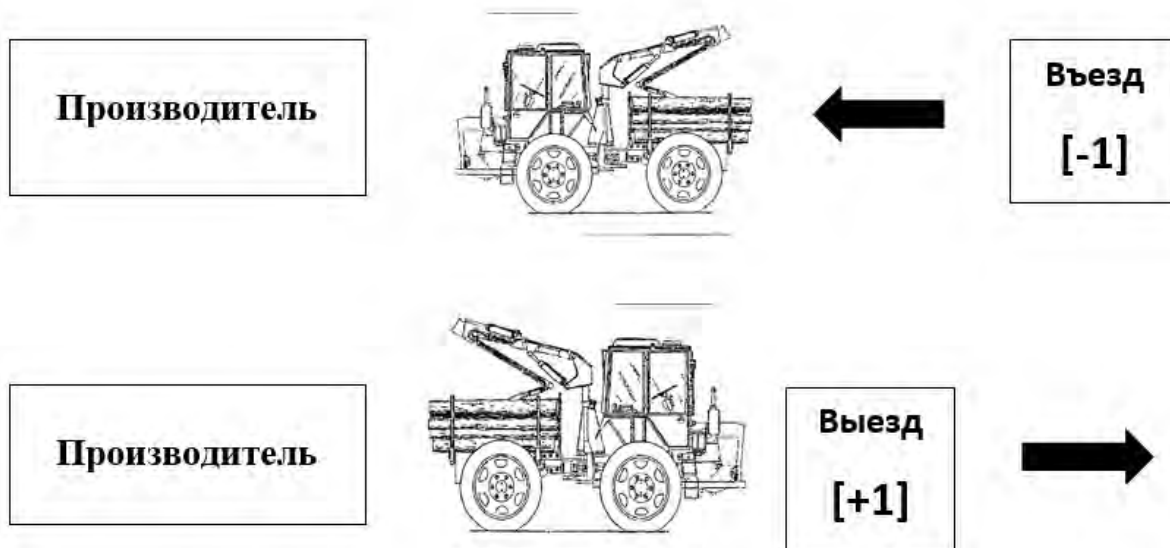


Рис. 3. Основное правило для составления матрицы инцидентий к

Ниже приводятся результаты решения поставленной задачи.

FLAZ202 РЕШЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЕ Дата 03-16-2020 Время 19:10:07

MINIMUM ВВОДИМ: БАЗИС X: 6 ПЕРЕМЕНН.: 12
ТОЧЕК : 14 ВЫВОД.: БАЗИС S: 1 Ф.ПЕР.: 3
ТОЧ. INV: 0 ОЦЕН. 0 COST 995000 ОГРАНИЧЕНИЙ: 10

BASIS x17 x35 S.1 x26 x24 x36 x37 **** **
РЕШЕН. 600 750 0 300 600 0 50 0 0
ОЦЕН 0 0 -100 -600 -400 -300 -500 0 0

Итак, минимальные расходы на перевозку грузов (сортиментов) от рубок ухода потребителю, составили 995 000 руб.

Заключение.

Рост объёма рубок ухода невозможен без широкого применения современных средств механизации. В настоящее время в лесном хозяйстве страны применяются технически и морально устаревшие машины и оборудование. Это снижает результативность мероприятий по воспроизводству лесного массива. Созданный колёсный малогабаритный трактор Т-25АЛ – класса тяги 6 кН позволит существенно повысить сменную производительность на вывозке древесины от рубок ухода.

Минимизация расходов при выполнении транспортных работ даёт возможность расширить использование низкотоварной древесины от рубок ухода. В конечном итоге, это даст возможность уменьшить диспропорцию технологической цепочки лесное хозяйство – лесозаготовки и существенно повысить эффективность отрасли.

Библиографический список

5. Гладков Е.Г. Территориальная динамика лесозаготовок: моделирование и оптимизация эффективного развития лесозаготовок в современных экономических условиях.- СПб.: издательство Санкт-Петербургского университета. 2006.-188 с.
6. Гладков Е.Г., Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В. Модель выбора системы машин для лесосечных работ и лесовосстановления. Статья в журнале.- Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: издательство СПб ГЛТУ. 2009.- 7 с.
7. Александров В.А., Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В. Механизация лесохозяйственных работ. Машины и механизмы: Текст лекций. СПб.: СПб ГЛТА, 2004. 132 с.
8. Козьмин С.Ф. Лесохозяйственный колёсный трактор Т-25АЛ на рубках ухода: методические указания / С.Ф Козьмин.—СПб.: СПб ГЛТУ, 2019. -76с.
9. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелёвочных тракторов и снижение энергоёмкости трелёвки путём увеличения приспособляемости дизеля.// Диссертация на соискание учёной степени канд. техн. наук, Л.: ЛТА, 2986.-198с.
10. Дурманов М.Я., Куликов В.Н., Михайлов О.А. Влияние параметров лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на часовой расход топлива дизеля при транспортном режиме//Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018 /отв. ред В.А. Соколова - СПб.: СПб ГЛТУ, 2019. №1,с. 110-120.

11. Козьмин С.Ф., Гусева Н.Г., Спиридонов С.В. Экономические вопросы при создании новых машин: учебное пособие/ С.Ф. Козьмин [и др.] - СПб.: СПб ГЛТУ, 2010.-68с.

Сведения об авторах

ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru
ФИО	Мартынов Б.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lesbisnes@mail.ru
ФИО	Андронов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код 8345-3722
e-mail andronovalexandr@gmail.com
ФИО Тюрина М.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 6582-0730
e-mail turinamaria2017@yandex.ru

Аннотация

Приведены материалы по применению на рубках ухода малогабаритного колёсного трактора с шарнирной рамой класса тяги 6 кН Т-25АЛ - форвардера, созданного на кафедре ПЛМ ЛТУ им. С.М. Кирова для вывозки сортиментов от рубок ухода. Рассмотрен вопрос минимизации транспортных расходов при доставке сырья потребителям.

Ключевые слова: колёсный трактор, рубки ухода, минимизация транспортных расходов, производители, потребители, матрица инцидентов.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора

Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чуракова А.В., Мубаракшина Т.М.

Введение

Важным параметром лесных машин является материалоемкость. Удельную материалоемкость машин, характеризующую технический уровень изделия и эффективность использования материалов и конструкции, нельзя рассматривать в отрыве от эксплуатационной материалоемкости, которая характеризует затраты материалов в сфере эксплуатации на поддержание машины в работоспособном состоянии [12]. Это важно, так как курс на повышение мощности и производительности машин, увеличение энергонасыщенности сопровождается ростом удельных нагрузок на детали, рабочих температур, скоростей относительного перемещения трущихся деталей, путей трения и другого, что способствует ускорению процессов накопления повреждений. В результате действия этих факторов, масса годового комплекта запасных частей возрастает, например, с ростом мощности машин [11]. Для трелевочных тракторов влияние массы машины на экономические показатели эксплуатации (производительность, расход горючего) подробно не изучено.

Снижение материалоемкости достигается применением качественных сталей, проката с минусовыми допусками [4]. Один из главных путей снижения массы металлоемких чугунных деталей – расширение применения высокопрочного чугуна. Чугуном необходимо заменять и стальной прокат. В США при производстве колесных тракторов чугуна используется в среднем на 340 килограммов больше, а стального проката на 230 килограммов меньше, чем в европейских машинах. Чугун имеет значительные преимущества перед сталью по отношению энергоемкости производства к прочности [6].

Для трелевочного трактора определяющими конструктивными параметрами являются тип шасси, конструкция силовой передачи, применяемое технологическое оборудование, конструкция опорно-двигательного аппарата, кабины, органов управления.

Колесные трелевочные тракторы выполняются с шарнирно-сочлененной рамой [19]. Машины с такой рамой надежно работают в условиях лесосеки, хорошо вписываются в микропрофиль дороги, надежно управляются, обеспечивают надежный выход из тяжелых транспортных ситуаций за счет складывания рамы, в том числе на месте [2]. Применяются объемные рамы, имеющие высокую прочность и обеспечивающие защиту агрегатов трансмиссии от повреждений. При использовании универсального шарнира с неограниченной степенью свободы в поперечной плоскости достигается гарантированная поперечная устойчивость передней полурамы. За счет шарнирного сочленения снижаются динамические воздействия на водителя [1].

Колесные трелевочные тракторы, работающие в тяжелых условиях, должны иметь привод на все колеса [14]. В настоящее время для этих машин применяются следующие типы силовых передач: механические, гидромеханические, гидрообъемные [3].

Для сравнения различных типов силовых передач применяются следующие оценочные параметры:

- возможность плавного изменения крутящего момента на ведущих органах;
- возможность распределения крутящего момента по осям машины пропорционально сцепным весам;
- коэффициент полезного действия трансмиссии;
- весовые и габаритные параметры;
- стоимость;
- ограничения нагрузки на трансмиссию;
- удобство передачи мощности на расстояние;
- простота конструкции, удобство эксплуатации.

Механические передачи характеризуются ступенчатостью изменения общего передаточного числа трансмиссии с различной плотностью ряда

передач [9]. Для современных машин должна быть предусмотрена возможность переключения передач на ходу и под нагрузкой [15]. Трансмиссия широко применяется на современных машинах. К достоинствам трансмиссии можно отнести высокий к.п.д., простоту конструкции, низкую стоимость [10].

Гидромеханические трансмиссии, включающие в себя гидротрансформатор с механической коробкой передач, находят широкое применение в конструкциях трелевочных тракторов. Они позволяют переключать передачи без разрыва потока мощности с высокой автоматичностью, обеспечивают повышение скорости движения в лесу [13].

Гидрообъемные передачи состоят из насоса высокого давления и колесных гидромоторов. Эти передачи обеспечивают плавное бесступенчатое изменение передаточного числа чаще всего за счет изменения рабочего объема насоса [18]. В настоящее время используются на колесных лесопромышленных тракторах. Основной недостаток этих трансмиссий – высокая стоимость и низкий к.п.д. вследствие двойного преобразования энергии [20].

Электрические трансмиссии из-за высокой стоимости, низкого к.п.д., большого веса, распространения на лесопромышленных тракторах не получили, хотя имеется определенная перспектива использования электропривода осей прицепа, включаемого на низших передачах при движении в тяжелых дорожных условиях [8].

Конструкция трансмиссии должна включать в себя устройства, позволяющие повысить проходимость машины. Важным резервом повышения проходимости является блокировка дифференциалов, увеличивающая тяговые качества машины за счет лучшего использования сцепного веса [5]. Наилучшим типом силовой передачи может быть гидродинамическая трансмиссия в сочетании с использованием межосевых и межколесных дифференциалов с оптимальными коэффициентами блокировки [16].

В качестве движителей колесных трелевочных тракторов применяются торроидальные, широкопрофильные и арочные шины [21]. Оценка опорно-ходовому комплексу трактора может производиться по двум группам критериев:

- критерии проходимости и экологии – опорная проходимость как способность ходового комплекса обеспечить передвижение машины по деформируемым грунтам, тяговая способность, сохранность поверхности движения;
- эксплуатационные и экономические – долговечность, удельные энергетические затраты, затраты на исследования и организацию производства, материалоемкость.

Заключение

Рассмотрение колесного лесопромышленного трактора, взаимодействующего с окружающей средой [7, 12], как системы, с анализом широкого спектра параметров, позволяет обоснованно сформулировать основные требования, предъявляемые к его конструкции [17].

Библиографический список

12. Войнаш С.А. К вопросу об оценки устойчивости гусеничного сортиментовоза / Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.
13. Добрынин Ю.А. Об одной особенности вертикальной динамики лесного трактора с колесной формулой 4×4 / Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Мартынов Б.Г., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Назарова М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 275-281.
14. Кретинин В.И. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин / Кретинин В.И., Теплов А.В., Кривоногова А.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 90 с. С. 38-41.
15. Кретинин В.И. Характеристика отказов лесопосадочных машин / Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
16. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
17. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
18. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
19. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
20. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
21. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
22. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниханов А. //

- Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
23. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
 24. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
 25. Фам Н.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком / Фам Н.Л., Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.
 26. Хитров Е.Г. Теоретическое исследование глубины колеи и уплотнения снега под воздействием движителя лесной машины / Хитров Е.Г., Тарадин Г.С. Андронов А.В., Котенев Е.В., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 227. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 236-248.
 27. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
 28. Dobretsov R.Y. Power distribution mechanism for the transmission of forest tracked and wheeled vehicles / Dobretsov R.Y., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Andronov A.V. // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42046.
 29. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
 30. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
 31. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.
 32. Shifrin, B.M. Development of a Feed Mechanism Control Model for KARA Master Circular Saw Based on SWITCH Technology / Shifrin, B.M., Yeliseev, I.V., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S., Pushkov, Y.L. // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEast 2020 – Vladivostok, Russia, 2020 – p. 9271629.

Сведения об авторах

ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации	
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации	
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации	
SPIN-код	–
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Мубаракшина Т.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации	
SPIN-код	–
e-mail	5125071206@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены вопросы влияния основных конструктивных параметров колесных лесопромышленных тракторов, в частности металлоемкости, на проходимость лесных машин. Дана оценка конструктивных параметров лесозаготовительных машин и их влияние на технико-экономические показатели машин.

Ключевые слова: системный подход, сцепной вес, лесопромышленные тракторы, исследование, анализ, синтез, мощность, номинальное тяговое усилие трелевочного трактора.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99.

Создание математических моделей колесных лесопромышленных тракторов с учетом системного подхода

Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Торощин П.С.

Введение

При создании математических моделей важно определить предпочтительность применяемых математических методов [1]. К отдельным математическим моделям предъявляются следующие основные требования:

- точность модели, достаточная для необходимого приближения ее результатов к свойствам моделируемой системы;
- точность результатов, соизмеримая с возможной точностью используемой информации;
- простота и удобство построения;
- приемлемая скорость решения.

Можно сформулировать правило сопоставления математических моделей: следует пользоваться более простой моделью, если более сложная и эта, более простая модели дают в главном совпадающие результаты пообъектного и временного развития системы [11]. При этом надо иметь в виду, что часто даже относительно небольшие уточнения в расчетах, вносимые более сложной моделью, могут оправдать ее применение [5].

При проектировании современных технических систем часто применяется теоретический подход, ставящий задачей отыскание реальной системы по некоторому типу или типам связей [11].

Проведение теоретического моделирования в системном анализе основывается на использовании универсально-абстрактных конструкций. Такие конструкции типологически можно разделить на три вида [3]. В первом из них отыскивается универсальное свойство, во втором универсальное отношение, в третьем – универсальный механизм преобразований.

Применение системного подхода для исследования, анализа и синтеза технических объектов предъявляет исключительные требования к уровню и качеству информации об этих объектах [9]. Информацию о системах можно разделить на три основных вида.

1. Детерминированная, которая однозначно характеризует ту или иную часть элементов и связей системы.
2. Вероятностная, определяемая случайными событиями или процессами в системе, обладающими вероятностными характеристиками.
3. Неопределенная, не обладающая вероятностной характеристикой, и не являющаяся случайной.

Для систем с детерминированной информацией, к которым относятся механические объекты, имеются следующие условия [16], которым должны удовлетворять отношения между величинами системы для того, чтобы сформулировать их в виде причинных отношений:

- должно существовать четкое разделение величин на зависимые и независимые;

- независимые величины должны быть такими, чтобы их нельзя было выразить в явном виде, или их явное выражение должно быть неоднозначным;
- зависимые переменные должны быть такими, чтобы их можно было выразить явно и однозначно как функции только независимых величин.

Разделение величин в системе на зависимые и независимые задается заранее. В технических системах независимые величины называют входными, а зависимые – выходными величинами [19].

Сложившаяся структура транспортных средств в лесной отрасли не отвечает требованиям повышения эффективности лесозаготовок. Обычно применяемые тихоходные гусеничные трелевочные тракторы не позволяют увеличить расстояние подвозки, что приводит к необходимости строительства в лесу густой сети автомобильных дорог кратковременного действия – порядка 200 километров лесовозных усов на один миллион вывезенной древесины. Оптимальное среднее расстояние трелевки гусеничными тракторами составляет 300 метров, при использовании колесных машин оно увеличивается до двух километров. Экономическая выгода от увеличения расстояния трелевки определяется сокращением затрат на строительство лесовозных усов [4]. Следовательно, повысить экономическую эффективность вывозки леса можно увеличением зоны действия первичного транспорта – трелевкой на большие расстояния с помощью колесных трелевочных машин.

Прогрессивной считается техника, которая в условиях ее оптимального использования требует наименьших приведенных затрат, что обеспечивает положительный годовой экономический эффект. Помимо годового экономического эффекта определяются и другие показатели: прирост прибыли, увеличение производительности труда, снижение себестоимости, экономия материалов и энергии, капиталовложений, числа условно высвобожденных рабочих [2].

Основными исходными требованиями к прогрессивной технике являются ее эксплуатационные показатели - производительность, количество обслуживающего персонала, качество работы, улучшение условий труда и техники безопасности. Первые два показателя должны быть обоснованы исходя из технических возможностей и максимального снижения потребностей в работниках. Качество работы машины определяется как на основе исследований на экспериментальных установках, так и другими методами [20]. Мероприятия по улучшению условий труда и техники безопасности включают в себя решение таких задач, как установка герметичной кабины, подпрессоренного сидения, кондиционера, различных блокировок, ограждений [10].

Еще один важный показатель – лимитная цена машины с обоснованием ее уровня. Под лимитной ценой понимается такая верхняя граница цены машины, при которой эксплуатация новой машины при заданных параметрах будет давать определенный запланированный социально-экономический эффект [14]. Это означает, что издержки на эксплуатацию новой машины будут снижены на заданную величину по сравнению с существующими или сохранятся на прежнем уровне при улучшении условий труда и техники безопасности. Уровень лимитной цены должен обеспечить снижение себестоимости работы или продукции. Этот уровень зависит от производительности машины, качества ее работы, срока службы, ремонтпригодности, количества и квалификации обслуживающего персонала, расхода горючего, а также от уровня цены на технику, принятую за базу [12].

Одним из основных классификационных параметров колесного трактора является номинальное тяговое усилие. Если считать, что оптимальной для данного трактора скоростью движения является скорость, при которой тяговый к.п.д. трактора достигает максимума, то тяговое усилие при этой скорости и будет определять тяговый класс трактора [6]. Под тяговым к.п.д. понимается отношение мощности на крюке к текущей эффективной мощности двигателя [7].

Для трактора основным фактором, ограничивающим мощность на крюке, является сила сцепления движителей с опорной поверхностью. Поэтому энергетически допустимые пределы буксования рекомендуется устанавливать, исходя из оптимального использования сцепного веса. При этом принято номинальным тяговым усилием базовой или самостоятельной модели называть такое тяговое усилие, которое трактор развивает на невзлущенной стерне средней плотности и нормальной влажности в зоне высшего тягового к.п.д. при эксплуатационной весовой комплектности трактора, предусмотренной технической характеристикой [13].

Однако номинальное тяговое усилие трелевочного трактора без установления уровня энерговооруженности не может быть критерием производительности. Трелевочные тракторы являются транспортными машинами, и для их классификации необходим параметр, отражающий не только целесообразный уровень тягового усилия на движителях, но и достижимый при этом скоростной режим [8]. В связи с этим, номинальным тяговым усилием для трелевочного трактора следует считать такой режим, при котором достигается максимальная производительность машины. Рабочая скорость является основным параметром, характеризующим режим работы трактора. Выбор ее значения существенным образом влияет на производительность и режим работы в заданных условиях [18]. Это влияние

определяется зависимостью от скорости движения важнейших эксплуатационных параметров трактора – производительности и расхода топлива. Таким образом, установление скорости, при которой реализуется номинальное тяговое усилие, равносильно регламентации уровня энерговооруженности трактора [17].

Для трелевочных тракторов номинальное тяговое усилие на крюке не может служить критерием для отнесения их в тот или иной тяговый класс, так как они являются транспортными машинами, принимающими часть веса транспортируемого груза на свое шасси, при этом увеличивается сцепной вес машины и сила тяги по сцеплению [15]. При транспортировке древесины в полупогруженном положении за номинальное тяговое усилие, характеризующее тяговый класс, принимается номинальная касательная сила тяги трактора $P_{кн}$, развиваемая машиной без нагрузки при коэффициенте сцепления $\varphi = 0,35$. Тогда мощность двигателя N_e , при которой будет обеспечено номинальное тяговое усилие машины, может быть определена по соотношению:

$$N_e \geq \frac{\varphi \cdot G \cdot V}{3,6 \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_N}; \quad (1)$$

где G – сила веса тягача, кН; V – скорость движения машины, км/ч; $\eta_{тр}$ – к.п.д. трансмиссии; η_N – коэффициент использования мощности двигателя.

Одним из важных параметров трелевочного трактора является надежность, которая количественно характеризуется коэффициентом технической готовности K_r .

$$K_r = \frac{T_0}{T_0 + T_d}; \quad (2)$$

где T_0 – время выполнения основной работы; T_d – дополнительные затраты времени, необходимые для производительного использования техники (устранение отказов, техническое обслуживание, метеопростои и другое).

Заключение

Применение системного подхода для исследования, анализа и синтеза лесопромышленного трактора позволяет оптимизировать основные параметры транспортной системы при проектировании, а также обосновать основные критерии оценки эксплуатационной эффективности лесопромышленных тракторов [11].

Библиографический список

33. Алексеева С.В. Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин / Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Пендриков Е.С., Баринаева П.А., Кривоногова А.С. // Научно-техническая конференция по итогам научно-

- исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 227-232.
34. Андронов А.В. Методика расчета предельных нагрузок на кониковые устройства сортиментовозных автопоездов / Андронов А.В., Пушков Ю.Л. // «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 349-352.
 35. Добрынин Ю.А. Об одной особенности вертикальной динамики лесного трактора с колесной формулой 4×4 / Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Мартынов Б.Г., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Назарова М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 275-281.
 36. Кретинин В.И. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин / Кретинин В.И., Теппоев А.В., Кривоногова А.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 90 с. С. 38-41.
 37. Кретинин В.И. Характеристика отказов лесопосадочных машин / Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
 38. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
 39. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
 40. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
 41. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
 42. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
 43. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
 44. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
 45. Фам Н.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком / Фам Н.Л.,

- Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.
46. Хитров Е.Г. О сопоставлении среднего и номинального давления движителя лесной машины на почвогрунт / Хитров Е.Г., Котенев Е.В., Андронов А.В., Ильюшенко Д.А., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 229. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 185-195.
47. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
48. Dobretsov R.Y. Power distribution mechanism for the transmission of forest tracked and wheeled vehicles / Dobretsov R.Y., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Andronov A.V. // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42046.
49. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
50. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
51. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.
52. Shifrin, B.M. Development of a Feed Mechanism Control Model for KARA Master Circular Saw Based on SWITCH Technology / Shifrin, B.M., Yeliseev, I.V., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S., Pushkov, Y.L. // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEast 2020 – Vladivostok, Russia, 2020 – p. 9271629.

Сведения об авторах

ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Торощин П.С.

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail bukafeed98@gmail.com

Аннотация

В статье представлены основные принципы системного подхода при исследовании, анализе и синтезе лесопромышленного колесного трактора. Представлены основные эксплуатационные показатели трелевочного трактора, которые необходимо учитывать при математическом моделировании систем колесного лесопромышленного трактора.

Ключевые слова: системный подход, сцепной вес, лесопромышленные тракторы, исследование, анализ, синтез, мощность, номинальное тяговое усилие трелевочного трактора.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99.

Принципы системного подхода при обосновании параметров колесного лесопромышленного трактора

**Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.,
Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Давыденко С.В.**

Введение

Системный подход – направление методологии научного познания, в основе которого лежит исследование объектов как систем. Такой подход способствует адекватной постановке задач в прикладных науках и выработке эффективной стратегии их решения [5, 11]. Методологическая специфика системного подхода определяется тем, что он ориентирует исследование на раскрытие целостности объекта и обеспечивающих эту целостность механизмов, на выявление многообразных типов связей объекта и сведения их в единую теоретическую картину [3]. Системная постановка проблемы влечет за собой целый ряд следствий [11, 15]. Во-первых, это должна быть новая постановка проблемы, позволяющая по-новому увидеть объект и очертить реальность, подлежащую исследованию [10]. Во-вторых, должен быть выполнен минимум условий, делающих последующее исследование системным [12]. К числу таких, методологических по своему характеру условий, относятся постановка проблемы целостности или связности объекта [17], вычленение

системообразующих связей, выявление структурных характеристик объекта и другое [14].

Применение такого подхода позволяет определять и решать проблемы организации и функционирования достаточно сложных объектов [13]. В свете этого трелевочный трактор представляется динамической системой с детерминированными необходимыми движениями, и возникает возможность проектировать транспортную линию в целом, со всеми средствами ее обеспечения, как комплекс механизмов для валки, первичной обработки и вывозки леса [1, 7]. Принципы системного подхода позволяют строить предметы изучения, задавая структурные и типологические характеристики этих предметов, и таким образом способствовать формированию конструктивных исследовательских программ [2]. И в общем случае единицей исследования и конструирования является не отдельное техническое средство, а комплекс машин, выполняющих единую функцию [9].

Системный подход содержит в себе новую по сравнению с классическими методиками схему объяснения, в основе которой лежит поиск конкретных механизмов целостности объекта и выявление по возможности полной типологии его связей [18]. Реализация этой функции обычно сопряжена с большими трудностями. Для эффективного исследования мало зафиксировать наличие в объекте разнотипных связей, необходимо еще представить это многообразие в операциональном виде, то есть изобразить различные связи как логически однородные, допускающие непосредственное сравнение и сопоставление [4]. В ориентации соответствующих исследований на выявление и анализ различных типов связей изучаемых систем наиболее отчетливо выражается методологическое значение системного подхода. Здесь связь должна пониматься как взаимообусловленность существования явлений, разделенных в пространстве или во времени, и рассматриваться во всем многообразии ее типов: внутренние и внешние, необходимые и случайные, существенные и несущественные, жесткие и корпускулярные, порождения и преобразования, прямые и обратные, функционирования и управления, и другие [6].

Декомпозиция колесного трелевочного трактора, как объекта исследования, с использованием принципов системного подхода позволяет выделить ряд основных параметров, которые могут быть рассмотрены как подсистемы, характеризующие качество машины [11].

Из важного для системного подхода тезиса о многообразии типов связей объекта следует, что сложный объект при анализе допускает не одно, а несколько расчленений [16]. При этом критерием обоснованного выбора наиболее адекватного расчленения изучаемого объекта может служить то,

насколько в результате удастся построить операциональную единицу анализа, позволяющую фиксировать целостные свойства объекта, его структуру и динамику. Обычно под расчленимым объектом понимается такой объект, для которого существуют средства, позволяющие расчленить его на части или подсистемы [8]. Только расчленимый объект может иметь структуру, следовательно, только для него можно разработать структурную схему.

Средства расчленения (декомпозиции) не обязательно должны быть реальными, они могут быть концептуальными. Это понятие необходимо, если речь идет об описании целостного функционирования механизма [7]. При этом понадобится выявление динамики многообразных внутренних и внешних взаимосвязей, а это требует привлечения соответствующего понятийного аппарата, обеспечивающего представление машины как множество взаимосвязанных элементов и подсистем [1]. Наиболее простой в методологическом отношении синтез строится на основе функционального представления предмета изучения. В этом случае различные характеристики объекта синтезируются в целостную картину при помощи системы функций, причем функция понимается не в математическом, а в более широком смысле как взаимосвязь, определяющая порядок включения части в целое. Совокупность функций позволяет представить объект как иерархически организованную систему. Такой подход дает возможность перейти от понятия морфологии к понятию структуры, от представления о строении объекта к представлению о его организации [5].

Поскольку система изучается как целое, а не как совокупность отдельных фрагментов, необходимо использовать стратегию исследования, в которой место каждого фрагмента определяется с точки зрения тщательного согласования всех фрагментов в единое целое в конце программы исследований [11, 17]. Иначе в конце программы можно обнаружить, что фрагментарные результаты, полученные на каждой из различных ступеней программы, просто не могут быть согласованы друг с другом, и дать в итоге полную картину.

Заключение

Системный подход обеспечивает правильность постановки научных проблем [11]. Содержательность системных исследований заключается в том, что сначала исследованию подлежит теоретический аспект, т.е. обобщаются исследования природы, общих и отличительных свойств изучаемых систем, создаются обобщенные конструктивные методы и средства изучения исследуемых систем [10-12, 14], а затем достигнутые теоретические результаты применяются для разработки конкретных методов и обобщенных рекомендаций для решения основных научных и узловых практических задач, характерных для данной области системных исследований.

Библиографический список

1. Алексеева С.В. Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин / Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Пендриков Е.С., Баринаева П.А., Кривоногова А.С. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 227-232.
2. Войнаш С.А. К вопросу об оценке устойчивости гусеничного сортиментовоза / Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.
3. Кретинин В.И. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин / Кретинин В.И., Теппоев А.В., Кривоногова А.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 90 с. С. 38-41.
4. Кретинин В.И. Характеристика отказов лесопосадочных машин / Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
5. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
6. Михайлов О.А. Методика определения оптимального передаточного ряда гидромеханической трансмиссии / Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Спиридонов С.В., Козьмин С.Ф., Пушков Ю.Л. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 42-47.
7. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации колесчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
8. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
9. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
10. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниязов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
11. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
12. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая

конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.

13. Хитров Е.Г. Теоретическое исследование глубины колеи и уплотнения снега под воздействием движителя лесной машины / Хитров Е.Г., Тарадин Г.С. Андронов А.В., Котенев Е.В., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 227. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 236-248.
14. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
15. Dobretsov R.Y. Power distribution mechanism for the transmission of forest tracked and wheeled vehicles / Dobretsov R.Y., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Andronov A.V. // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42046.
16. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
17. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
18. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации
SPIN-код —
e-mail kerro07@mail.ru
ФИО Торощин П.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации
SPIN-код —
e-mail bukafeed98@gmail.com
ФИО Тарадин Г.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации
SPIN-код 5247-6595
e-mail grisha190@mail.ru
ФИО Давыденко С.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации
SPIN-код —
e-mail davydenko.sergey00@icloud.com

Аннотация

В статье сформулированы основные принципы системного подхода при проектировании и эксплуатации сложной лесозаготовительной техники с учетом специфики производственной эксплуатации.

Ключевые слова: системный подход, комплекс механизмов, исследования и конструирования, теоретические результаты, система функций.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99.

3. ТЕПЛОТЕХНИКА, ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Анализ методов термической переработки биомассы в газогенераторных установках

Иванова И.В., Куликов А.А., Иванов М.М., Прохоров В.А.

Введение

В последние годы во всем мире энергетическое использование древесной биомассы и, в частности, древесных отходов, рассматривается как желанная альтернатива традиционным видам топлива. Это связано с тем, что древесные отходы являются CO_2 – нейтральным, имеют низкое содержание серы, относятся к возобновляемым источникам энергии [1]. Все это привело к тому, что технологии получения энергии из древесных отходов в последние годы развиваются и совершенствуются. Основными технологиями являются: газификация и сжигание.

Газификация представляет собой процесс высокотемпературного превращения древесины (и других видов биомассы, а также угля и торфа) при нормальном или повышенном давлении в газ, называемый древесным или генераторным газом, а также небольшое количество золы, в специальных реакторах (газогенераторах) с ограниченным доступом воздуха или кислорода [2]. Генераторный газ имеет температуру 300...600 °С и состоит из горючих газов (CO , H_2 , CH_4), инертных газов (CO_2 и N_2), паров воды, твердых примесей и пиролизных смол. Из 1 кг древесной щепы получают около 2,5 м^3 газа с теплотой сгорания 900...1200 ккал/ м^3 . Эффективность газификации достигает 85...90%. Благодаря этому, а также удобству применения газа, газификация является более эффективным и чистым процессом, чем сжигание.

Газификация твердого топлива является универсальным методом его переработки. Универсальность методов газификации твердого топлива может рассматриваться в трех направлениях. Во-первых, методам газификации подвластны любые твердые топлива, начиная от разнообразных органических отходов и кончая каменными углями и антрацитом, независимо от их химического состава, состава зольной части, примесей серы, крупности, влажности и других свойств. Наконец, в-третьих, немаловажной особенностью методов газификации твердого топлива являются их масштабные изменения. Газогенераторные установки могут обслуживать крупнейшие химические комбинаты, выпускающие миллионы тонн аммиака или метанола в год, снабжать горючим газом крупнейшие ТЭЦ и в то же время могут обеспечивать газом небольшие автономные энергетические и химические установки

(например, газогенераторные установки для автомобилей), поселки и деревни, небольшие химические, машиностроительные или другие заводы.

Реализация модифицированной технологии газификации позволит в 8...10 раз снизить смолосодержание генераторного газа, что позволит использовать его в дизельном двигателе при минимальной очистке. При переходе на генераторный газ мощность двигателя практически не меняется, существенно улучшаются экологические показатели энергетических установок, на 40...50% повышается их моторесурс.

Содержание статьи

Целью работы является исследование методов снижения топливно-энергетических затрат на производство промышленной продукции лесной промышленности по энергии и по топливу, поиск новых направлений по энергосбережению.

Эффективное сжигание биомассы может осуществляться в два этапа. На первом этапе биомасса перерабатывается в жидкое или газообразное топливо. Наиболее широкое развитие получил процесс получения генераторного газа. На втором этапе это вторичное топливо сжигается.

Термическая переработка биомассы может быть осуществлена различными путями. Переработка ее в жидкие углеводородные топлива требует использование сложного и громоздкого оборудования и вряд ли перспективна для лесохозяйственных предприятий. При пиролизе биомассы, то есть нагреве ее без доступа воздуха, или сухой перегонке, может быть получен высококалорийный горячий газ с низшей теплотой сгорания только на 30...35 % уступающей природному газу. Однако этот газ неизбежно содержит легко конденсирующиеся продукты пиролиза, что сильно затрудняет передачу его даже на небольшие расстояния и сжигание в газогорелочных устройствах.

Генераторный газ имеет значительно меньшую теплоту сгорания, которая колеблется в пределах 10...11 МДж/нм³ при кислородном дутье и не превышает 4...6 МДж/нм³ при воздушном дутье. Однако низкая теплота сгорания забалластированного азотом воздушного генераторного газа в значительной мере компенсируется его другими хорошими теплотехническими свойствами. Необходимость же кислородного дутья сразу резко снижает практические перспективы применения генераторных газов в лесной промышленности. Поэтому рассмотрим вопросы выработки именно воздушных генераторных газов. Этот горючий газ далее с успехом может быть использован как топливо не только в паровых и водогрейных котлах, но и в двигателях внутреннего сгорания, а возможно и в газотурбинных установках. Переработка биомассы, и в частности древесных отходов, в воздушный генераторный газ сулит целый ряд выгод, которые будут рассмотрены ниже.

На рис. 1 представлена схема прямого и обратного процесса работы газогенератора. В обоих случаях исходное топливо непрерывно подается через шлюзовые или другие питатели в верхнюю часть газогенератора, представляющего собой колонку с круглым или прямоугольным поперечным сечением. Золоудаление осуществляется снизу из-под колосниковой решетки. Горячий дутьевой воздух подается внутрь газогенератора через многочисленные отверстия – фурмы, расположенные в районе утолщения футеровки. Как при прямом, так и при обратном процессе воздух подается в количестве, недостаточном для полного сгорания исходного топлива.

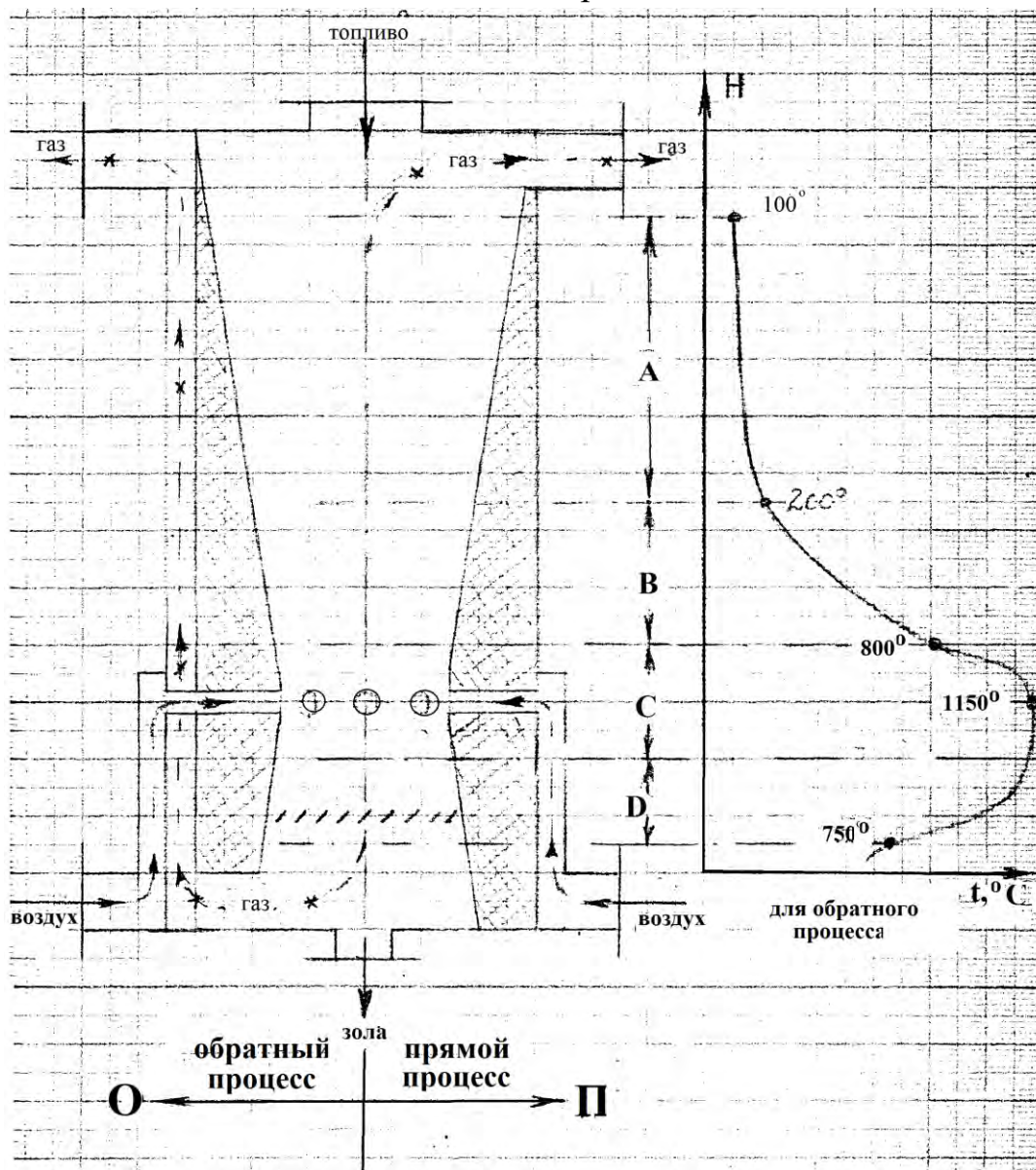


Рис. 1. Схемы прямого (П) и обратного (О) процессов работы газогенератора

При прямом процессе (правая часть схемы рис. 1 обозначенная буквой П) сходящее вниз по мере его выгорания исходное топливо последовательно проходит следующие стадии:

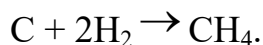
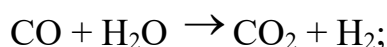
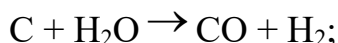
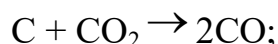
- зона А – разогрев и сушка при температурах 100...200 °С;

- зона В – пиролиз при температурах 200...800 °С;
- зона С – газификация и горение летучих при температурах 800...1150 °С;
- зона Д – выгорание кокса.

Необходимое для процессов сушки, пиролиза и газификации тепло получают в результате реакции горения



Реакции газификации имеют следующий вид:



В ходе газификации в зоне С в потоке газовой фазы происходит частичное восстановление углекислого газа CO_2 в окиси углерода CO , являющуюся основным горючим компонентом генераторного газа, а также образование таких горючих газов как водород H_2 и метан CH_4 , а также высших углеводородов и других продуктов пиролиза.

При прямом процессе генераторный газ отводится из верхней части газогенератора и содержит легко конденсирующиеся пары кислот и смол, что является основным недостатком прямого процесса, так как делает невозможным передачу выработанного генераторного газа на сколько-нибудь значительные расстояния и осложняет работу газогенераторных устройств.

При обратном процессе (левая часть схемы рис. 1, обозначенная буквой О) генераторный газ отводится снизу, из-под колосниковой решетки. При этом он последовательно используется как греющий теплоноситель в газовоздушном теплообменнике и далее для нагрева исходного топлива в верхней части газогенератора;

Главным преимуществом обратного процесса является то, что при своем движении вниз получаемый газ проходит через слой раскаленного древесного кокса. При этом интенсивно происходят реакции восстановления, в частности CO_2 восстанавливается до CO и, что самое важное, при высоких температурах (950...1200 °С) происходит термическое разложение или крекинг продуктов сухой перегонки. В результате такой газогенератор вырабатывает чистый горючий газ практически свободный от паров кислот, смол и мелких частиц топлива. Этот газ не может засмолить трубопроводы и аппаратуру и может быть передан на значительные расстояния [3].

Большинство стационарных газогенераторов, выпускающихся в настоящее время [4], работают по прямому процессу. Для создания системы энергетического использования биомассы, без ее предварительного термического обезвоживания, то есть практически с влажностью 60% и более, требуется использования обратного процесса газогенерации. Разделение потоков пара (вверх) и газа (вниз) при этом открывает возможность удаления из отходов избыточной влаги в виде пара из верхней части ГГУ через управляемый клапан и выпарную трубу с тем, чтобы к моменту схода отходов в район зоны В (рис. 1) они имели относительную влажность, близкую к оптимальной (25 %). Это дает возможность получить газ большей теплоты сгорания, например, 4 и более МДж/нм³.

Недостатком генераторного газа является забалластированность его азотом N₂ дутьевого воздуха, что также неизбежно снижает теплоту его сгорания до указанных пределов. Во избежание этого ряд зарубежных фирм применяет кислородное дутье или дутье обогащенного кислородом воздуха. Это приводит к существенному увеличению калорийности вырабатываемого газа, но требует укомплектования ГГУ весьма сложной и дорогостоящей установкой для получения кислорода. Такое решение может быть экономически оправдано только для мощных ГГУ чисто энергетического назначения.

При анализе ГГУ обращает на себя внимание, следующее: в качестве исходного топлива используются дробленые отходы, включая кору, а также различные сельскохозяйственные отходы, например, стебли сахарного тростника, лузга, отходы хлопчатника маиса, другая биомасса растительного происхождения.

По мощности, назначению, принципу организации рабочего процесса и особенностям конструкции ГГУ можно разбить на 3 группы.

К первой группе могут быть отнесены ГГУ малой мощности электроэнергетического назначения. Каждый блок, часто выполняемый в виде транспортабельного контейнера, такой станции включает в себя газогенератор, поршневой двигатель внутреннего сгорания (ДВС) и электрогенератор, мощность которого обычно не превышает 100 кВт, а также вспомогательное оборудование. В качестве двигателей таких установок используются специально выпускаемые газовые двигатели или газодизели, предназначенные для работы на генераторном газе. Наиболее уязвимой частью таких установок малой мощности являются системы очистки генераторного газа перед его подачей в цилиндры ДВС, что требует тонкой очистки газа от твердых частиц, влаги, и главное, смол. Очистка производится термомеханическим путем. Системы очистки весьма многообразны по конструкции. Использование, вырабатываемой такими ГГУ газ в котлоагрегатах за рубежом не практикуется.

ГГУ этой группы широко рекламируются для использования в фермерских хозяйствах при их автономном электроснабжении.

Ко второй группе относятся газогенераторы средней мощности. К ним могут быть отнесены ГГУ с единичной мощностью до 1 МВт. В этой группе также преобладают ГГУ электроэнергетического назначения (ГГУ – ДВС – электрогенератор). Это накладывает отпечаток и на конструкцию ГГУ этой группы. Поэтому среди наиболее удачных конструкций ГГУ средней мощности характерным является использование систем очистки и охлаждения газа, системы подачи воздуха и регулирования мощности и других элементов в расчете на дальнейшее использование газа именно в ДВС специальной конструкции. Отметим, при этом, что ДВС, рассчитанные на работу на генераторном газе, в нашей стране серийно не выпускаются.

К третьей группе относятся ГГУ большой мощности, достигающей десятков МВт. Эти ГГУ вырабатывают газ для его последующего сжигания в топках и печах, для производства синтез-газа и выработки метанола, а также выработки электроэнергии на крупных тепловых электростанциях.

Стремление оптимизировать протекание рабочего процесса в выпускаемых крупных ГГУ приводит к значительному усложнению их конструкции. Такие газогенераторы выполняются многокорпусными с горением исходного топлива в циклонных камерах сгорания, в неподвижном или вращающемся псевдо-сжиженном слое. В них часто используют дутье обогащенного кислородом воздуха. Применяются и твердые, промежуточные, инертные теплоносители, например, раскаленные частицы песка и т.д. Однако именно эта группа газогенераторов наиболее широко используется для выработки газа, сжигаемого далее в котлагрегатах.

Очевидно, что ГГУ, имеющая хорошие шансы на широкое внедрение в лесной отрасли должна быть проста и весьма надежна в эксплуатации. Она должна быть приспособлена к уровню технического обслуживания и рассчитана на использование самых низкосортных древесных отходов, включая лесосечные отходы и сплавную кору. Она должна потреблять исходное дробленое топливо без его предварительного кондиционирования, включая и его обезвоживание.

Заключение.

Важным, а возможно и определяющим требованием к создаваемой в наших современных условиях ГГУ является отсутствие в ее составе сложного и мало доступного комплектующего оборудования, включая средства механизации и автоматизации. При этом наилучшим вариантом является конструкция, допускающая изготовление ее элементов своими силами из самых доступных материалов.

Представляется целесообразным ориентировать такую ГГУ в первую очередь на сжигание генераторного газа в существующих котлах в том числе, в первую очередь, в водогрейных котлах. Вырабатываемый газ должен допускать его разводку на значительные расстояния по уже существующим в поселке или на лесном предприятии малыми отопительным водогрейным котлам.

В настоящее время значительные объемы древесных отходов в лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности не используются в качестве топлива из-за их слабых теплотехнических характеристик (относительная влажность до 70%, зольность 8...9%, полидисперсность, разнородность и т. п.), а также отсутствия эффективных топочных устройств.

Существующие методы предварительной подготовки древесных отходов к сжиганию требуют не малых энергетических, материальных и трудовых затрат, поэтому многие предприятия предпочитают вывозить отходы в отвалы.

Проведенные исследования, показали, что глубокая переработка древесных отходов при подготовке их к сжиганию позволяет получить новый вид топлива улучшенного качества. Перспективным и экономичным методом энергетической утилизации древесных отходов является их превращение в газообразное топливо с последующим сжиганием в энергетических, технологических и бытовых установках. Получаемый газ во многих отношениях удобнее для использования, технология его сжигания проще и легко поддается автоматизации, продукты сгорания меньше загрязняют окружающую среду. Газ можно транспортировать на значительные расстояния без потерь при небольших затратах. Очень важно, что в отрасли можно использовать широкий ассортимент газового оборудования (котлоагрегаты, сушилки, бытовые приборы), выпускаемого российской промышленностью. Перечисленные преимущества газообразного топлива компенсируют затраты на его получение.

Библиографический список

1. Головков, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головко, И.Ф. Коперин, В.И. Найденов. – Москва: Лесн. пром-сть, 1987. – 224 с.
2. Иванова, И.В. Теплоэнергетические установки для сжигания биомассы / И.В. Иванова, Н.Д. Ходорыч // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. – 410 с. – С. 364-372.
3. Смоляков, А.Ф. Газообразное топливо из древесных отходов / А.Ф. Смоляков, А.Б. Добров, А.К. Леонтьев // Лесная пр-сть № 12, 1987. – С.16-18.
4. Отходы.ру. Газификация древесных отходов и биомасс. Бионер – URL: <https://www.waste.ru/modules/section/item.php?itemid=365> – (дата обращения 01.02.2021).

Сведения об авторах

ФИО Иванова И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

ФИО Куликов А.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7746-2999
e-mail ltuttsu@mail.ru

ФИО Иванов М.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3904-1560
e-mail ltuttsu@mail.ru

ФИО Прохоров В.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3817-3390
e-mail Proxorov_lta@mail.ru

Аннотация

Перспективным и экономичным методом энергетической утилизации древесных отходов является их превращение в газообразное топливо с последующим сжиганием в энергетических, технологических и бытовых установках. Получаемый газ во многих отношениях удобнее для использования, технология его сжигания проще и легко поддается автоматизации, продукты сгорания меньше загрязняют окружающую среду. Газ можно транспортировать на значительные расстояния без потерь при небольших затратах. Очень важно, что в отрасли можно использовать широкий ассортимент газового оборудования, выпускаемого российской

промышленностью. Перечисленные преимущества газообразного топлива компенсируют затраты на его получение.

Ключевые слова: древесная биомасса, газификация, генераторный газ, газогенераторная установка.

УДК 620.91

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 62.35.33

Выбор и расчет системы, обеспечивающей получение тепловой энергии при использовании биомассы

Иванова И.В., Иванов М.М.

Введение

Поиск новых источников энергии – сейчас актуальная тема, как для России, так и для всего мира. При правильном подходе из биотоплива может получиться фактически неиссякаемый источник энергии. Анализ возможных методов энергетического использования биомассы, представленной на лесохозяйственных предприятиях низкосортными, некондиционными древесными отходами в чистом виде или с добавлением сельскохозяйственных отходов, показывает, что оптимальным вариантом является их термическая переработка в горючий газ [1, 2].

Газообразное топливо из древесины может быть получено сухой перегонкой (пиролизом, термолизом) – разложением древесины при нагревании до 450...550 °С без доступа воздуха, например, как побочный продукт производства древесного угля или в процессе газификации. Газификация твердого топлива, в том числе древесины, – искусственное превращение твердого топлива в горючие газы воздействием воздухом и водяным паром при высоких температурах. Высокая температура достигается выделением теплоты полного сжигания части топлива. В обычных условиях, при свободном доступе кислорода, процесс сжигания дров сопровождается выделением некоторого количества тепла. Но когда кислорода недостаточно для активного горения, дрова тлеют с образованием древесного газа, который включает горючие газы СО (оксид углерода), Н₂ (водород), СН₄ (метан) и непредельные углеводороды без смол. Также на выходе образуются негорючие вещества: СО₂, О₂, N₂, Н₂О, которые являются балластом, в конечном счете газовую смесь от них нужно очистить. Газификация топлива осуществляется в специальных аппаратах – газогенераторах.

Содержание статьи. Целью данной исследовательской работы является анализ возможных методов термической переработки биомассы с целью получения тепловой энергии.

Стремление использовать высоковлажные древесные отходы без их предварительного механического и термического обезвоживания, а также стремление получить генераторный газ, не содержащий паров кислот и смол, конденсирующихся при газопередаче, приводит к выводу о целесообразности использования газогенераторной установки, работающей по обратному процессу и использование биомассы для получения воздушного генераторного газа.

Теплота сгорания воздушного генераторного газа примерно в 6 раз меньше, чем природного. Однако для сжигания 1 м³ генераторного газа необходимо примерно в 10 раз меньше воздуха, чем для сжигания природного. При этом состав и количество продуктов сгорания, примерно такие же, как у природного газа, а жаропродуктивность генераторного газа только на 200 °С ниже. Поэтому для получения равных тепловых напряжений в теплогенераторах и топках при замене природного газа на генераторный требуется только небольшое увеличение расхода газа и специальная горелка.

Применение газогенератора обеспечивает возможность перевода существующих паровых котлов на генераторный газ путем только установки дополнительной газовой горелки. Заметим, что перевод газомазутных котлов на древесные отходы потребовал бы их полной реконструкции при установке специального топчного устройства со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Во многих случаях использование в отрасли водогрейных котлов предпочтительнее, чем паровых. Однако этому препятствует отсутствие серийного выпуска в нашей стране водогрейных котлов, рассчитанных на сжигание древесных отходов при их механизированной подаче. В то же время установка газогенератора и дополнительной горелки дает возможность использования всего парка газомазутных водогрейных котлов при сохранении мазута или природного газа только как резервного топлива.

С учетом накопленного опыта следующим этапом разработок может явиться использование созданных на предыдущем этапе ГГУ для выработки генераторного газа, сжигаемого далее в ДВС или других тепловых двигателях, устанавливаемых на собственной электростанции для автономного или резервного электроснабжения предприятия [3].

Исходя из изложенного, при предпроектной проработке технических решений для системы, обеспечивающей промышленное получение тепловой энергии на предприятиях лесного хозяйства на базе использования биомассы, предлагается принять установку газогенератора с обратным процессом газификации, вырабатывающего воздушный генераторный газ.

Рассмотрим основных инженерные решения для проектируемой газогенераторной установки. Планируемая мощность такой установки по газу может быть определена из следующих соображений. В первую очередь следует ориентировать проектную газогенераторную установку на дальнейшее сжигание вырабатываемого ею генераторного газа для уже существующих паровых или водогрейных котлов. Учитывая, что установка рассматривается как опытная, не целесообразно рассчитывать ее на покрытие полной тепловой нагрузки котельной какого-либо лесопредприятия или поселка, а следует ограничиться задачей покрытия только частичной, например, летней нагрузки. Тогда на генераторный газ в опытном порядке может быть переведен только один из паровых котлов котельной, работающей на природном газе, и одновременно и в них должны быть установлены дополнительные горелки для сжигания генераторного газа.

Потребная мощность установленного газогенератора по газу для покрытия бытовой нагрузки составит:

$$N = \frac{q \cdot n}{\eta_{\text{тг}}} \quad (1)$$

где q – расход тепла на одного жителя, кВт/чел; n – число жителей, чел.; $\eta_{\text{тг}}$ – общий КПД теплогенераторов, в которых сжигается газ (с запасом может быть принят равным 0,8).

В свою очередь:

$$q = \sum_{i=1}^n q_i \quad (2)$$

где q_i – нормативные расходы тепла на отопление жилых и культурно-бытовых построек, горячее водоснабжение, бани, прачечные и прочее для соответствующих климатических зон и сезонов, кВт/чел.

Тогда для северных районов европейской части страны составит [4]:

зимой: $q_i = 1,44 + 0,35 + 0,64 + 0,03 + 0,07 + 0,18 = 2,71$ кВт/чел;

летом: $q_i = 0,64 + 0,03 + 0,07 + 0,18 = 0,92$ кВт/чел.

Потребная мощность, работающих ГГУ при численности жителей 1000 человек составит:

$$\text{зимой} \quad N = \frac{2,71 \cdot 1000}{0,8} = 3,4 \quad \text{МВт};$$

$$\text{летом} \quad N = \frac{0,92 \cdot 1000}{0,8} = 1,15 \quad \text{МВт}.$$

Также можно произвести оценку годового потребления древесных отходов на выработку генераторного газа. Нормативный годовой расход тепла,

учитывая все упомянутые выше статьи его расхода, в указанных условиях, составит [4]:

$$Q_r = 13,9 + 3,4 + 8,15 + 0,64 + 1,24 + 1,17 = 28,5 \text{ ГДж/чел. год.}$$

Определим необходимый годовой расход древесных отходов на одного жителя поселка V в м^3 . В качестве топлива примем самые низкосортные отходы – кору с относительной влажностью 60%, при этом при сжигании такой коры выход генераторного газа V_r составит $1,16 \text{ нм}^3/\text{кг}$ при низшей теплоте сгорания получаемого газа $Q_i^r = 4200 \text{ кДж/нм}^3$. Тогда при средней плотности влажной коры $\rho_{\text{ср}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ и КПД теплогенератора $\eta_{\text{тг}} = 0,8$, годовой расход древесных отходов на одного жителя поселка V , м^3 , составит:

$$V = \frac{Q}{\eta_{\text{тг}} \cdot Q_i^r \cdot V_r \cdot \rho_{\text{ср}}} = \frac{28,5 \cdot 10^6}{0,8 \cdot 4200 \cdot 1,16 \cdot 10^3} = 7,31 \text{ м}^3/\text{чел. год}$$

При этом необходимо учитывать, что расчет проводился на условиях жизни сельского жителя по комфортности равным городским (горячее водоснабжение, расходы на культурно-бытовое обслуживание, общественные здания, бани, прачечные и т.д.).

Заключение. С учетом изложенного, планируемая единичная мощность ГГУ по газу составит 1 МВт. При наличии технологической тепловой нагрузки или стремлении покрыть полную зимнюю бытовую нагрузку достаточно крупного поселка в дальнейшем может быть использована батарея таких газогенераторов с суммарной установленной мощностью 4 и более МВт. При этом ряд элементов системы накопления и подачи топлива могут быть общими для такой батареи газогенераторов.

Переработка древесных отходов в генераторный газ, то есть в топливо, находящееся в одном агрегатном состоянии с окислителем, позволит получить следующие теплотехнические выгоды:

1. получить оптимальные условия смесеобразования и горения, а значит и возможность сжигания топлива с минимальным коэффициентом избытка воздуха и повышением КПД;
2. полностью исключить унос твердых частиц и минимизировать другие вредные выбросы в окружающую среду;
3. обеспечить оптимальные условия автоматизации управления процессом горения и защиты котла;
4. полностью исключить ручной труд при обслуживании топки;
5. обеспечить при необходимости возможность разводки газа на несколько малых котлов, включая малые водогрейный котлы.

Библиографический список

1. Головков, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головко, И.Ф. Коперин, В.И. Найденев. – Москва: Лесная пром-сть, 1987. – 224 с.
2. Иванова, И.В. Рациональное ресурсо- и теплоиспользование в лесной промышленности / И.В. Иванова, А.Д. Дейс // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020.– 520 с. – С. 119-127.
3. Иванова, И.В. Теплоэнергетические установки для сжигания биомассы / И.В. Иванова, Н.Д. Ходорыч// Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019.– 410 с. – С. 364-372
4. Справочник энергетика деревообрабатывающего предприятия / А.А. Пижурин и др. – Москва: Лесная пром-сть, 1982. – 400с.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Иванов М.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3904-1560
e-mail	ltuttsu@mail.ru

Аннотация

Переработка древесных отходов в генераторный газ, то есть в топливо, находящееся в одном агрегатном состоянии с окислителем, позволит получить следующие теплотехнические преимущества: получить оптимальные условия смесеобразования и горения, а значит и возможность сжигания топлива с минимальным коэффициентом избытка воздуха и повышением КПД; полностью исключить унос твердых частиц и минимизировать другие вредные выбросы в окружающую среду; обеспечить оптимальные условия автоматизации управления процессом горения и защиты котла; полностью исключить ручной труд при обслуживании топки; обеспечить при необходимости возможность разводки газа на несколько малых котлов, включая малые водогрейный котлы.

Ключевые слова: биомасса, генераторный газ, газогенератор, теплота сгорания, водогрейный котел.

УДК 620.91

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 62.35.33

К вопросу о прямом сжигании биомассы для получения тепловой энергии

Иванова И.В., Иванов М.М.

Введение

Ожидаемый мировой энергетический кризис является значительным толчком, побудившим по-новому взглянуть на проблемы энергетического использования биомассы. Во многих странах древесная биомасса была не только самым распространенным строительным материалом, но и самым древним видом топлива. Что касается такой биомассы растительного происхождения, как сельскохозяйственные культуры, то, по понятным соображениям, ее энергетическое использование ограничивалось сжиганием только ее отходов, в основном, в бытовых отопительных устройствах.

Транспортабельность древесного топлива существенно ниже, чем природного газа, жидких топлив и каменных углей. Затраты труда на заготовку и вывозку древесины выше трудозатрат на добычу ископаемых топлив. В прошлом веке в нашей стране потребность промышленности в топливе стала существенно превышать возможности воспроизводства древесного топлива в ее лесных массивах. Значимость древесины как топлива в XX веке стала резко падать. Известные ограничения энергетического использования древесины связаны также с внедрением новых технологий, позволяющих более полно использовать древесную биомассу как сырье.

Все указанное, однако, совсем не означает, что древесных отходов мало. Например, даже в индустриально развитых странах специалисты считают, что в лесопильном производстве почти половина сырья переходит в отходы, а на мебельных предприятиях в отходы превращается еще и половина полученных пиломатериалов. Если учесть технический уровень нашей промышленности, а также количество менее доступной биомассы, теряемой при заготовке, вывозке и первичной обработке древесины, то становится очевидным, что древесных отходов, практически пригодных только для энергетической утилизации, у нас более чем достаточно [1].

Содержание статьи. Целью работы является обоснование метода для утилизации древесных отходов на основании анализа известных способов получения тепловой энергии.

Ранее в нашей стране привлекалась, представители таких организаций, как ЦКТИ, которые как раз и были призваны решать технические вопросы энергетической утилизации древесных отходов. Стоит ли удивляться тому, что в таких условиях, эти разработки всерьез и не проводились. Поэтому парк отечественных топочных устройств пригодных для сжигания древесных отходов, в отличие от зарубежного, крайне ограничен. В то же время ряд специалистов считают, что вовлечение в топливный баланс древесных отходов существенно удовлетворит потребности энергетики в топливе [2].

Еще недавно стремление использовать в качестве топлива биомассу, в частности древесные отходы, базировалось на следующих соображениях [3]. Во-первых, многие виды биомасс, например, древесина, является единственным топливом самовозобновляющимся в больших объемах. Угроза истощения ископаемых твердых топлив, нефти и газа стала к концу XX века подталкивать на поиски альтернативных источников энергии. Во-вторых, немаловажную роль сыграл и экологический аспект проблемы. Древесное топливо практически не содержит серы, имеет высокую реакционную способность и умеренные температуры горения. В продуктах сгорания этого топлива не содержится серного и сернистого газа, а количество окиси углерода и окислов азота, при рациональных методах сжигания, может быть сведено к минимуму. К экологическим аспектам проблемы относится также наличие на многих предприятиях залежей гниющих древесных отходов, отравляющих воду, почву и воздух.

В настоящее время к указанным соображениям в нашей стране добавляются еще и соображения чисто экологические. Лавинообразный рост цен на сортовое твердое топливо, мазут и природный газ настойчиво подталкивает в сторону поиска путей замены этих традиционных топлив на более доступные по цене. Если учесть соответствующий рост топливной составляющей в цене продукции и неизбежную конкуренцию между предприятиями при рыночной экономике, то можно прогнозировать, что именно те предприятия или отрасли, которые, скорее всего, научатся рационально энергетически, использовать свои горючие отходы и окажутся в наиболее выгодных условиях. Очевидно, в перспективе всерьез можно говорить только о непосредственном полезном сжигании биомассы или о том или ином виде переработки биомассы в горючие газы или другие виды топлива с их последующим сжиганием.

Технология переработки биомассы в жидкие или твердые высококалорийные топлива трудо- и энергоемка и пока не нашла широкого промышленного применения. Производство из древесных отходов брикетов находит применение при дальнейшей продаже этих брикетов населению в

городских или малолесных районах, но вряд ли может найти широкое применения при промышленном энергетическом использовании древесных отходов и другой биомассы [4].

Тепловая энергия, получаемая при сжигании горючих газов, вырабатываемых тем или иным путем из биомассы, может быть использована далее непосредственно для технологического или бытового нагрева или, наконец, частично превращена в тепловых двигателях в работу и далее в электроэнергию. Ограничения, накладываемые II законом термодинамики на процесс превращения тепла в работу, приводят, как известно, к потерям значительной части тепла, неизбежно передаваемого при этом преобразовании в окружающую среду. Использование принципа теплофикации не позволяет при этом «по дороге» использовать часть тепла для целей технологического или бытового нагрева.

Переработка биомассы в горючие газы, в свою очередь, может быть осуществлена двумя принципиально отличными методами, которые могут быть названы холодным и термическим.

Холодный метод предусматривает биологическую переработку биомассы в горючий газ с помощью бактерий в специальных устройствах – метантенках различной конструкции. Этот способ хорошо зарекомендовал себя применительно к биомассе животного происхождения. Что касается переработки этим методом растительной биомассы, и, особенно, древесных отходов, то здесь на пути ее реализации встречаются большие трудности. В древесных отходах содержится значительное количество лигнина, биологическая переработка в горючий газ которого требует выведения специальных видов бактерий. Проводимые научно-исследовательские работы, направленные на создание устойчивых сообществ, штампов таких бактерий [4] пока не привели к возможности промышленного внедрения холодной переработки древесных отходов в горючий газ.

Таким образом, на сегодняшний день практически конкурировать между собой могут только два метода: непосредственное сжигание древесных отходов или их термическая переработка в горючие газы с последующим использованием этих газов в теплогенераторах или тепловых двигателях.

В целом древесная биомасса является неплохим топливом, практически не содержащим серы. Горючая масса топлива, состоящего из любых древесных пород, имеет примерно одинаковый элементный состав. В ней содержится в среднем: углерода – 51%, водорода – 6,1%, кислорода – 42,3%; азота – 0,6%. Выход летучих из древесины весьма велик и в расчете на сухое беззольное топливо составляет $V^{\text{daf}} = 85\%$ (здесь и далее обозначения показателей топлива в соответствии с ГОСТ 27313-95 [5], которые несколько отличаются от

применявшихся ранее) [6]. Характерно и то, что теплота сгорания горючей массы, также почти не зависит от породы и составляет в среднем $Q_i^{daf} = 18\ 883$ кДж/кг. В то же время низшая теплота сгорания рабочего топлива (в обозначениях ГОСТ 27313-95 [5] Q_i^r) колеблется в достаточно широких пределах и в среднем составляет, например, для дров обычной кондиции $Q_i^r = 10\ 000$ кДж/кг, а для дробленых древесных отходов в смеси в среднем $Q_i^r = 7600$ кДж/кг. Это объясняется значительными колебаниями влажности и зольности древесных отходов, сильно влияющих на значение Q_i^r . Так по некоторым данным [6] для смешанных древесных отходов колебания Q_i^r более значительны и находятся в пределах от 6300 до 11000 кДж/кг.

В состав рабочей массы древесины входит зола и влага. Известно, что зола, образующаяся при сгорании древесины из минеральных частиц ее клеток, составляет всего 1% [6]. Поэтому дрова всегда считались самым беззольным из твердых топлив. Однако необходимо иметь в виду, что при заготовке, трелевке, перевозке, сплаве и подборке древесины к ней и, особенно, к ее коре, прилипают минеральные частицы грунта, сильно увеличивающие ее зольность. Поэтому такая приобретенная зольность древесных отходов может достигать 15% и даже 20%.

Влажность древесного топлива также колеблется в очень широких пределах. Свежесрубленная древесина содержит 40...60% влаги, а пролежавшая лето 20...30% [6]. Влажность отходов деревообрабатывающих производств в зависимости от вида, места образования, способа транспортировки и хранения колеблется обычно в пределах от 5 до 20%. Влажность отходов лесопильного производства составляет 10...50%, сплавной коры до 80%. Смешанные древесные отходы на лесозаготовительных предприятиях в среднем имеют влажность 40...50%.

Важной, не менее известной теплотехнической характеристикой любого топлива является его жаропроизводительность. Это понятие было в свое время введено Д.И. Менделеевым как характеристика качества тепловой энергии, которую можно получить при сжигании данного вида топлива. Жаропроизводительность топлива называют максимальной температурой горения, развиваемую при полном сгорании топлива без избытка воздуха (коэффициент избытка воздуха $\alpha = 1$), то есть в условиях, когда все выделившееся при сгорании тепло расходуется на нагрев образующихся продуктов сгорания. Низшая теплота сгорания рабочего топлива Q_i^r характеризует то количество тепла, которое выделилось при полном сгорании 1

кг рабочего топлива и может быть практически использовано. Жаропроизводительность же фактически характеризует количество этого тепла, оценивая его пригодность для обеспечения наиболее эффективных и экономичных высокотемпературных, например, топочных процессов [6]. Отметим, что жаропроизводительность безводного мазута составляет 2150 °С, природного газа при его сжигании в сухом воздухе 2040 °С. Жаропроизводительность абсолютно сухого древесного топлива составляет 2010 °С, то есть всего на 5% ниже жаропроизводительности мазута и на 2% ниже этого показателя для природного газа. Однако жаропроизводительность древесины зависит от зольности и особенно сильно от влажности. Так для воздушно сухой древесины жаропроизводительность составляет величину порядка 1830...1850 °С, а при влажности 50% падает до величины 1440...1340 °С. При еще более высокой влажности, например, в 70%, и при зольности 10% жаропроизводительность древесины составляет всего 660 °С [7].

Исходя из этого, создавая котельный агрегат или энерготехнологическую систему, предназначенные для работы на древесной биомассе, например, на древесных отходах, можно выделить два направления. Первое направление требует разработки специальной конструкции котельного агрегата, рассчитанной именно на использование топлива с низкой жаропроизводительностью. Это требует соответствующего расчета, конструирования и компоновки как основных, так и хвостовых поверхностей нагрева котлоагрегата. На сегодняшний день самые широко эксплуатируемые в лесной отрасли котлы серии Е-1/9, ДКВр, КЕ и ДЕ по существу рассчитаны на сжигание природного газа, мазута и сортовых твердых топлив, а отнюдь не на древесную биомассу, и являются котлами общепромышленного назначения. В дальнейшем котлы ДКВр и КЕ были только приспособлены для сжигания древесных отходов за счет установки в них топков скоростного горения Померанцева [2].

Второй путь требует создания специальной линии обезвоживания древесных отходов до их подачи в топку котла. Механическое обезвоживание древесных отходов весьма энергоемко и не может обеспечить их «отжатия» до влажностей, близких к воздушно-сухой древесине. Попытки создания и эксплуатации установок термического обезвоживания неоднократно предпринимались в нашей стране, но все созданное оборудование термического обезвоживания громоздко, металлоемко, трудоемко в эксплуатации и практически не прижилось. При нынешней экономической ситуации, в части стоимости металла, поставок комплектующего оборудования и затрат на оплату дополнительного персонала эксплуатационников, можно предположить, что

попытки реанимации разработок в области термического обезвоживания древесной биомассы перед ее сжиганием заранее обречена на провал.

Вот лишь ряд основных трудностей, которые приходится преодолевать при прямом сжигании древесных отходов:

1. высокая влажность древесных отходов является первой трудностью, которую нужно преодолеть, создавая топочное устройство, работающее даже на предварительно обезвоженных древесных отходах;
2. гранулометрический состав древесных отходов весьма различен, так как в эту категорию попадает не только отсев щепы, но и обрезки, горбыль и другие кусковые отходы. Кусковые отходы можно раздробить, но и тогда в составе отходов будет находиться стружка, кора, опилки, а возможно еще и шлифовальная пыль. Организация предварительной сортировки отходов на энергетических предприятиях малой и средней мощности практически трудно разрешима. Таким образом, в топку котла попадают не только различные по размеру своих частиц отходы, но и топливо при совершенно неопределенном и переменном процентном содержании частиц разной величины;
3. такие древесные отходы как мелкая щепа, стружки и пыль обладают высокой парусностью, т.е. склонностью уносу, что ограничивает дутье в топку;
4. неравномерный гранулометрический состав отходов делает их склонными к кратерному горению. Вследствие выдувания наиболее парусных компонентов отходов дутьевой воздух устремляется по линии наименьшего сопротивления, через образовавшиеся пустоты. В районе таких кратеров развивается чрезмерно высокая температура. Следствием этого может явиться перегрев и даже оплавление колосников. В то же время другие слои топлива начинают затухать.

Зольность различных видов отходов колеблется в очень широких пределах как в течение каждой смены, так, особенно, в течение года, в зависимости от сезона. В то же время топка, рассчитанная на зольность топлива 1,5...2%, оказывается совершенно непригодной при работе на топливе с зольностью 15...20%. При такой зольности шлак сплавляется с шамотным кирпичом обмуровки, образуя наплавы, препятствующие нормальному сходу топлива, а значит и его горению. Особенно трудно бороться с наплавами в том случае, когда топливо содержит шлифовальную пыль, которая плавится вместе со шлаком.

Заключение.

Выбор между непосредственным полезным сжиганием биомассы и переработкой ее в горючие газы с их последующим сжиганием не простая

задача. Ее обоснованное решение требует анализа целого ряда технических, организационных и экономических факторов.

Указанные трудности, которые необходимо учитывать, создавая работоспособное топочное устройство, усугубляются тем, что их можно преодолеть подчас за счет взаимоисключающих мер. Так, например, затухание периферийных слоев топлива при кратерном горении требует усиления дутья. Однако этому препятствует высокая парусность отдельных компонентов топлива и, как следствие, склонность их к уносу и усугубление кратерного горения и т.д.

Промышленное внедрение холодной переработки древесных отходов в горючий газ на сегодняшний день не привели у возможности промышленного внедрения. Можно выделить два конкурентных метода переработки древесных отходов: непосредственное сжигание древесных отходов или их термическая переработка в горючие газы с последующим использованием этих газов в теплогенераторах или тепловых двигателях

Библиографический список

1. *Иванова, И.В.* Рациональное ресурс- и теплоиспользование в лесной промышленности / И.В. Иванова, А.Д. Дейс // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020.– 520 с. – С. 119-127.
2. *Иванова, И.В.* Теплоэнергетические установки для сжигания биомассы / И.В. Иванова, Н.Д. Ходорыч// Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019.– 410 с. – С. 364-372
3. *Жвакина, С.В.* Технические аспекты производства биомассы / С.В. Жвакина, И.В. Иванова // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019.– 410 с. – С. 330-336.
4. *Хутская, Н.Г.* Энергосберегающие технологии термохимической конверсии биомассы и лигнокарбонатных отходов: уч-метод. пособие / Н.Г. Хутская, Г.И. Пальченко. – Минск: БНТУ, 2014 – 53 с.
5. ГОСТ 27313-95. Топливо твердое минеральное. Обозначение показателей качества и формулы пересчета результатов анализа для различных состояний топлива. – М.: ИПК Издательство стандартов, 2002. – 17 с.
6. *Головков, С.И.* Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головко, И.Ф. Коперин, В.И. Найденов. – Москва: Лесн. пром-сть, 1987. – 224 с.
7. *Иванова, И.В.* Анализ технических решений по технологическим процессам термохимической переработке биомассы / И.В. Иванова, Ю.Е. Шеменев // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2017. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2018.– 312 с. – С. 219-232.

Сведения об авторах

ФИО Иванова И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Иванов М.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3904-1560
e-mail	ltuttsu@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены особенности прямого сжигания древесной биомассы и как альтернативный способ – термический способ переработки в горючие газы с последующим использованием в теплогенераторах.

Ключевые слова: древесная биомасса, тепловая энергия, холодный метод, термический метод, теплота сгорания.

УДК 620.91

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.09.37

Обоснование выбора котельного агрегата для прямого сжигания древесных отходов

Иванова И.В., Куликов А.А., Иванов М.М., Прохоров В.А.

Введение

Тепловая энергия – необходимое условие жизнедеятельности человека, совершенствования общества, в котором он живет, и создания благоприятных факторов его быта. Оптимизация систем производства и распределения тепловой энергии, корректировка энергетических и водных балансов, энергосбережение позволяют улучшить перспективы развития теплоэнергетики, повысить технико-экономические показатели теплоэнергетического оборудования. Пути и перспективы развития теплоэнергетики определены энергетической программой Российской Федерации.

Теплоэнергетическое оборудование котельных включает в себя котельные установки, всевозможное теплообменное оборудование, трубопроводы, паропроводы, насосы различного назначения, оборудование водоподготовки, деаэрактор, баки и емкости, тягодутьевые машины, топливное хозяйство,

различные вспомогательные устройства, приборы и машины, предназначенные для обеспечения длительной и надежной работы котельных агрегатов.

Эффективность, безопасность, надежность и экономичность работы теплоэнергетического оборудования котельных во многом определяются методом сжигания топлива, совершенством и правильностью выбора оборудования и приборов, своевременностью и качеством проведения пуско-наладочных работ, квалификацией и степенью подготовки обслуживающего персонала. Повышение надежности и экономичности систем теплоснабжения зависит от работы котельных агрегатов, рационально спроектированной тепловой схемы котельной, широкого внедрения энергосберегающих технологий, экономии топлива, тепловой и электрической энергии. Перевод предприятий на хозяйственный расчет и самофинансирование, повышение цен на топливо, воду требуют пересмотра подходов к проектированию и эксплуатации теплоэнергетического оборудования котельных.

В качестве греющего теплоносителя в теплообменниках промышленного и коммунально-бытового назначения может быть использован водяной пар или вода. Водяной пар используется для технологических нужд промышленных предприятий и получения электроэнергии, в сельском хозяйстве, а также для нагрева воды, направляемой на отопление, вентиляцию и горячее водоснабжение. Горячую воду используют для отопления производственных, общественных и жилых зданий, а также для коммунально-бытовых нужд населения [1].

Содержание статьи.

Целью данной исследовательской работы является обоснование выбора водогрейных котельных агрегатов на предприятиях лесной отрасли.

Одним из преимуществ водяного пара является значительное количество тепла, отдаваемое паром в теплообменнике. Например, 1 кг пара низкого давления (порядка 0,2 МПа) отдает, конденсируясь, 2200 кДж тепла. В то же время, при обычных температурах прямой и обратной воды в теплотрассах, соответственно 150 и 70 °С, 1 кг воды потенциально может транспортировать только по расчету 335 кДж тепла.

Что касается возможной отдачи тепла паром и водой непосредственно в теплообменнике, то здесь отличия еще более значительны. Так, например, при обычных предусмотренных СНиП, перепадах температур 15 °С в отопительных приборах систем водяного отопления 1 кг воды может отдать только 63 кДж тепла.

К некоторым важнейшим преимуществам водяного пара можно отнести высокое значение коэффициента теплоотдачи α , Вт/(м² · К). Так при пленочной конденсации пара, без примеси воздуха и других неконденсирующихся газов,

коэффициент теплоотдачи α в 2 и более раза превышает значение этого коэффициента при вынужденном движении воды в трубах. Так же конденсирующийся водяной пар имеет способность обеспечить строго определенную зависящую только от давления, температуру в любой точке обогреваемой поверхности. Например, попытка замены пара низкого давления на воду в теплообменнике технологического назначения, где допустимый перепад температуры обогреваемой поверхности не должен превышать 5 °С, приведет к необходимости увеличения массового расхода воды по сравнению с расходом пара в 100...150 раз, что в свою очередь, потребует значительного увеличения диаметра подводящего трубопровода. Поэтому в технологических процессах, требующих постоянства температуры по длине обогреваемого элемента, пар как теплоноситель незаменим, а вода вообще не может найти применения.

И все же, несмотря на отмеченные теплотехнические преимущества свойств водяного пара, в некоторых случаях использование воды является целесообразным. Во многих практически важных случаях в лесной промышленности требование строгого постоянства температуры по длине обогреваемого элемента не является обязательным, например, при сушке. Это позволяет применять системы водяного отопления.

Водогрейные котельные агрегаты проще и дешевле паровых. Требования к качеству водоподготовки для водогрейных котельных также ниже, а их тепловые схемы проще.

Существенным недостатком паровых систем являются дополнительные трудности и потери, связанные с необходимостью их продувок, а также с эксплуатацией конденсатных систем. Наличие в этих системах таких элементов как конденсатоотводчики требует постоянного внимания обслуживающего персонала. Это особенно необходимо потому, что нарушение расчетного режима конденсатоотвода сильно снижает тепловую экономичность всей паровой системы, так как теплообменники могут перейти на режим работы с переохлаждением конденсата. Несмотря на то, что как было указано выше, что количество тепла, отдаваемое 1 кг пара, намного превышает теплоту отдаваемую водой, потребный диаметр подводящих паропроводов может оказаться таким же или даже больше диаметра водяной теплотрассы.

Отношение необходимо внутреннего диаметра паропровода $d_{\text{п}}$ к диаметру водяного трубопровода $d_{\text{в}}$ определяется равенством

$$\frac{d_{\text{п}}}{d_{\text{в}}} = \sqrt{\frac{c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot \Delta t_{\text{в}} \cdot w_{\text{в}} \cdot v_{\text{п}}}{(h'_{\text{п}} - c_{\text{H}_2\text{O}} \cdot t''_{\text{в}}) \cdot w_{\text{п}} \cdot v_{\text{в}}}} \quad (1)$$

где $c_{\text{H}_2\text{O}}$ – массовая теплоемкость воды, $c_{\text{H}_2\text{O}} = 4,19$ кДж/(кг · К); $\Delta t_{\text{в}}$ – разность температур, $\Delta t_{\text{в}} = t'_{\text{в}} - t''_{\text{в}}$, °С; $t'_{\text{в}}$ и $t''_{\text{в}}$ – температуры прямой (горячей) и обратной (холодной) воды соответственно, °С; $w_{\text{в}}$ и $w_{\text{п}}$ – допустимые скорости движения воды и пара соответственно, м/с, исходя из гидравлических соображений они могут быть приняты соответственно 3 и 30 м/с; $v_{\text{в}}$ и $v_{\text{п}}$ – удельные объемы воды и пара соответственно, м³/кг; $h'_{\text{п}}$ – энтальпия греющего пара, кДж/кг; $t''_{\text{в}}$ – температура конденсата, которую при сравнении принимается равной температуре обратной воды, °С.

Проведем сравнительный анализ соотношения диаметров $\frac{d_{\text{п}}}{d_{\text{в}}}$, например, при использовании сухого насыщенного пара с избыточным давлением 0,3 МПа и воды, для трех разностей температур $\Delta t_{\text{в}}$, составляющих 5, 15 и 80 °С. Такие разности температур выбраны как характерные, исходя из следующих соображений. Значение $\Delta t_{\text{в}} = 5$ °С соответствует характерному максимально допустимому значению падения температуры по длине обогреваемого элемента теплообменника технологического назначения в случае, когда постоянство температуры обогрева является непреложным требованием технологии. Значение $\Delta t_{\text{в}} = 15$ °С соответствует характерным температурам горячей ($t_{\text{г}} = 85$ °С) и обратной ($t_{\text{х}} = 70$ °С) в случае, если система водяного отопления не предусматривает элеваторного подмешивания в тепловых пунктах к горячей воде обратной. Значение $\Delta t_{\text{в}} = 30$ °С соответствует характерным температурам горячей ($t_{\text{г}} = 150$ °С) и обратной ($t_{\text{х}} = 70$ °С) воды в системе водяного отопления

с элеваторным подмешиванием. Отношения $\frac{d_{\text{п}}}{d_{\text{в}}}$ при этом будут иметь следующие значения: 0,6, 1,05, 2,41.

Полученные результаты говорят о том, что необходимый диаметр водяной теплотрассы превышает диаметр подводящего паропровода только для не характерного для лесной отрасли случая применения теплообменников, требующих строго постоянной температуры по длине обогреваемой поверхности. При отсутствии тепловых пунктов и элеваторов необходимые диаметры водяной тепловой трассы и паропровода практически одинаковы.

При наличии элеваторного подмешивания, как это и рекомендуется в современных системах водяного отопления, необходимый диаметр теплотрассы почти в два с половиной раза меньше диаметра паропровода.

Таким образом, значительное превышение количества тепла, транспортируемое паром, по сравнению с теплом, транспортируемые той же массой воды не препятствует в ряде случаев замене в системе теплоснабжения лесозаготовительного или деревообрабатывающего предприятия пара на воду.

Из изложенного выше следует, что в подавляющем большинстве случаев применение водогрейной промышленной или промышленно-отопительной котельной на предприятиях лесной отрасли явно предпочтительнее применения паровой котельной. В мало типичном случае установки на предприятии технологического оборудования, требующего строгого постоянства температуры по длине обогреваемой поверхности, оптимальным решением будет использование паро-водогрейной котельной с установкой в основном водогрейных котлов, а паровых в расчете только на эту специальную технологическую нагрузку.

Тепловую мощность или теплопроизводительность паровых котлов принято оценивать их паропроизводительностью в т/ч. Теплопроизводительность водогрейных котлов оценивается в МВт. Наибольшее распространение в лесной промышленности имеют паровые котлы с абсолютным рабочим давлением 1,4 МПа и без пароперегревателя. Если предположить, что вырабатываемый таким котлом пар дросселируют, после чего полностью используют в сетевом подогревателе для получения горячей сетевой воды. Тогда, поскольку в результате дросселирования энтальпия пара не меняется, сравнительная теплопроизводительность паровых котлов с достаточной точностью определится формулой:

$$Q = \frac{G \cdot 1000}{3600} \cdot r \cdot 10^{-3}, \quad (2)$$

или

$$Q = 0,544 \cdot G, \text{ МВт}, \quad (3)$$

где r – теплота парообразования при абсолютном давлении 1,4 МПа, кДж/кг, по таблицам воды и водяного пара [2] эта величина имеет значение 1960 кДж/кг; G – паропроизводительность котла, т/ч.

Если рассматривать водогрейные котлы малой теплопроизводительности (до 2 МВт), то более 30 марок таких котлов выпускается более чем 15 предприятиями, расположенными в различных районах Российской Федерации [3]. Подавляющее большинство этих котлов рассчитано только на природный газ или жидкое топливо и только незначительная часть на сортовое твердое топливо. Но на российском рынке котлостроения в свете современных требований уже появились предприятия, которые выпускают котлы, рассчитанные на использование древесных отходов.

Результаты и обсуждение исследований.

Резюмируя можно отметить, что в настоящее время наша промышленность находится только в стадии становления серийного выпуска водогрейных

котлов, рассчитанных на сжигание древесных отходов, комплектуемых системами механизированной подачи древесных отходов и другой биомассы.

В развитых зарубежных лесоизбыточных странах водогрейные котлы, специально рассчитанные на прямое сжигание древесных отходов, выпускаются и широко используются. Поэтому, несмотря на целый ряд рассмотренных выгод, которые сулит использование водогрейных котлов в лесной отрасли, даже при отсутствии паровой технологической нагрузки проектировщики очень часто предусматривают установку в промышленных и промышленно-отопительных котельных лесных предприятий нашей страны паровых котлов с топками скоростного горения и с последующим использованием вырабатываемого пара для нагрева сетевой воды, которая и отпускается потребителям. Однако и сами топки скоростного горения паровых котлов далеко не являются идеальным техническим решением устройств для прямого сжигания древесных отходов. Практика показывает, что эти топки удовлетворительно работают только на отходах достаточно стабильного фракционного состава и зольности при влажности топлива не более 50 %. Зольность топлива при этом не должна превышать 1,5...2 %, а содержание опилок и других мелких включений, во избежание кратерного горения, ни в коем случае не должно превышать 50 % [4]. Все указанные требования очень трудно практически выполнимы, особенно на предприятиях малой и средней мощности.

Заключение и выводы.

В подавляющем большинстве случаев применение водогрейной промышленной или промышленно-отопительной котельной на предприятиях лесной отрасли явно предпочтительнее применения паровой котельной.

Библиографический список

1. Фокин, В.М. Расчет и эксплуатация теплоэнергетического оборудования котельных: учеб. пособие / В.М. Фокин. – Волгоград: ВолгГАСУ, 2004. – 228 с.
2. Александров, А. А. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: справочник / А.А. Александров, Б.А. Григорьев. – Москва: Издательство МЭИ, 2003. – 168 с.
3. Воликов, А.Н. Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности – Ленинград: Недра, 1989. – 160 с.
4. Иванова, И.В. Теплоэнергетические установки для сжигания биомассы / И.В. Иванова, Н.Д. Ходорыч // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. – 410 с. – С. 364-372.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Куликов А.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7746-2999
e-mail	ltuttsu@mail.ru
ФИО	Иванов М.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3904-1560
e-mail	ltuttsu@mail.ru
ФИО	Прохоров В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3817-3390
e-mail	Proxorov_lta@mail.ru

Аннотация

В подавляющем большинстве случаев применение водогрейной котельной на предприятиях лесной отрасли явно предпочтительнее применения паровой котельной. В настоящее время наша промышленность находится только в стадии становления серийного выпуска водогрейных котлов, рассчитанных на сжигание древесных отходов.

Ключевые слова: вода, водяной пар, паровая котельная; водогрейная котельная; древесные отходы.

УДК 621.182

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.33

Принципиальная схема транспортной газогенераторной установки

**Иванова И.В., Спиридонов С.В., Пушков Ю.Л.,
Кривоногова А.С., Иванов М.М.**

Введение

В эпоху колоссального развития автомобильного транспорта, идея совершенствования и распространения легких газогенераторов перестает

носить случайный или временный характер. Все увеличивающийся рост потребления жидкого топлива быстро приближает нас к моменту, когда последние месторождения этого ценного ископаемого будут исчерпаны. Уже давно химики всех стран ищут все новых и новых заменителей нефти.

В этих условиях будущего органического недостатка нефти развитие транспортных газогенераторов является закономерным звеном общего развития современной техники и общества в целом.

Сжигание различных топлив и в особенности твердых – торфа, сланца, бурых, каменных углей, кокса и др. – широко применяется в топках паровых котлов и промышленных печей для использования тепловой энергии в различных технологических процессах и потребителями. Твердое топливо широко применяется также для газификации, то есть превращения топлива в горючий газ. Процесс газификации топлива близок процессу горения. В основе обоих процессов лежит химическое соединение восстановителя (углерода и водорода) с окислителем (кислородом). Отличие в том, что при сгорании происходит полное окисление топлива в условиях избытка кислорода, а газификация идет в условиях дефицита кислорода, при этом полного окисления топлива не происходит [1].

Совершенствование процесса газификации идет по пути повышения интенсивности процесса, увеличению теплоты сгорания газа и увеличению единичной мощности аппаратов.

При этом интенсивность процессов газификации связана с:

- ведением процесса при повышенном давлении (до 2,0...2,5МПа);
- увеличением реакционной поверхности топлива;
- увеличением температуры в реакционных зонах, так как в аппаратах с жидким шлакоудалением температура может достигать 1600°C.

Содержание статьи.

Целью работы является проанализировать и выбрать стратегические научные направления в области развития газификации твердого топлива, сравнить и оценить характеристики транспортных газогенераторов различных конструкций и дать техническую оценку потенциала существующих и разрабатываемых технологий в этой области.

Аппараты, в которых реализуется процесс пиролиза органосодержащих веществ с образованием генераторного газа, получили название газогенераторов [1-3]. При газификации в качестве окислителей, которые иногда называют газифицирующими агентами, используют кислород (или обогащенный им воздух), водяной пар, диоксид углерода либо смеси указанных веществ. В зависимости от соотношения исходных реагентов, температуры,

продолжительности реакции и других факторов можно получать газовые смеси разного состава.

Общим свойством твердых топлив является их термическая неустойчивость. При нагревании все топлива разлагаются, образуя летучие продукты и твердый остаток. Газификация есть термохимический процесс переработки твердого топлива путем присоединения к нему кислорода для превращения топлива в горючий газ (смесь CO , H_2 и др.), предназначенный для последующего сжигания (энергетический или бытовой газ) или для технологических целей (технологический газ). Целью газификации является наиболее полное превращение твердого топлива в газообразное.

В основе газификации лежит либо неполное горение топлива (при недостатке кислорода), либо полное горение с последующим реагированием углерода с углекислотой и водяным паром с целью получения горючих газов (CO , H_2 и др.). Последние реакции носят эндотермический характер. При некотором избыточном количестве кислорода процесс газификации переходит в процесс сжигания, характеризующийся полным соединением топлива с кислородом и сопровождающийся максимальным выделением теплоты и получением полных (негорючих) продуктов окисления – дымовых газов (CO_2 , H_2O и др.) – и твердого негорючего остатка – золы и шлака. Горение отличается от так называемого медленного окисления значительно большей интенсивностью реагирования и выделения теплоты [4].

Изучение механизмов процесса газификации затруднено их сложным взаимодействием, многообразием и недоступностью (из-за быстротечности) для экспериментального исследования ряда процессов. Условно, весь процесс газификации разбивают на этапы:

1. нагрев и сушка топлива;
2. пиролитическое разложение топлива на газообразные продукты и твердый остаток;
3. газификация угольного остатка.

Состав и масса газов, получаемых в результате пиролиза, зависят, в основном, от температуры процесса, вида топлива и скорости нагрева частиц. К примеру, в состав летучих продуктов пиролиза твердых топлив, полученных при температуре пиролиза $550\text{ }^\circ\text{C}$, входят пары воды, смол и кислот, а также неконденсирующиеся газы (CO_2 , CO , H_2 , CH_4 , C_nH_m), а при температуре свыше $800\text{ }^\circ\text{C}$ в состав неконденсирующихся газов входят, в основном, CO и H_2 [4, 5].

Генераторным называется газ, образующийся при взаимодействии углерода с каким-либо газообразным реагентом при условии получения в его составе горючих составляющих. В качестве реагирующих газов применяются обычно кислород воздуха, водяной пар, чистый кислород, а также смесь пара и

воздуха или пара и кислорода [5]. На рис. 1 приведена классификация методов газификации, в зависимости способа воздействия на сырье [4]. Также на схеме показано, какого уровня теплоту сгорания будет иметь газ, получаемый при различных видах газифицирующего агента, и возможные области его использования.

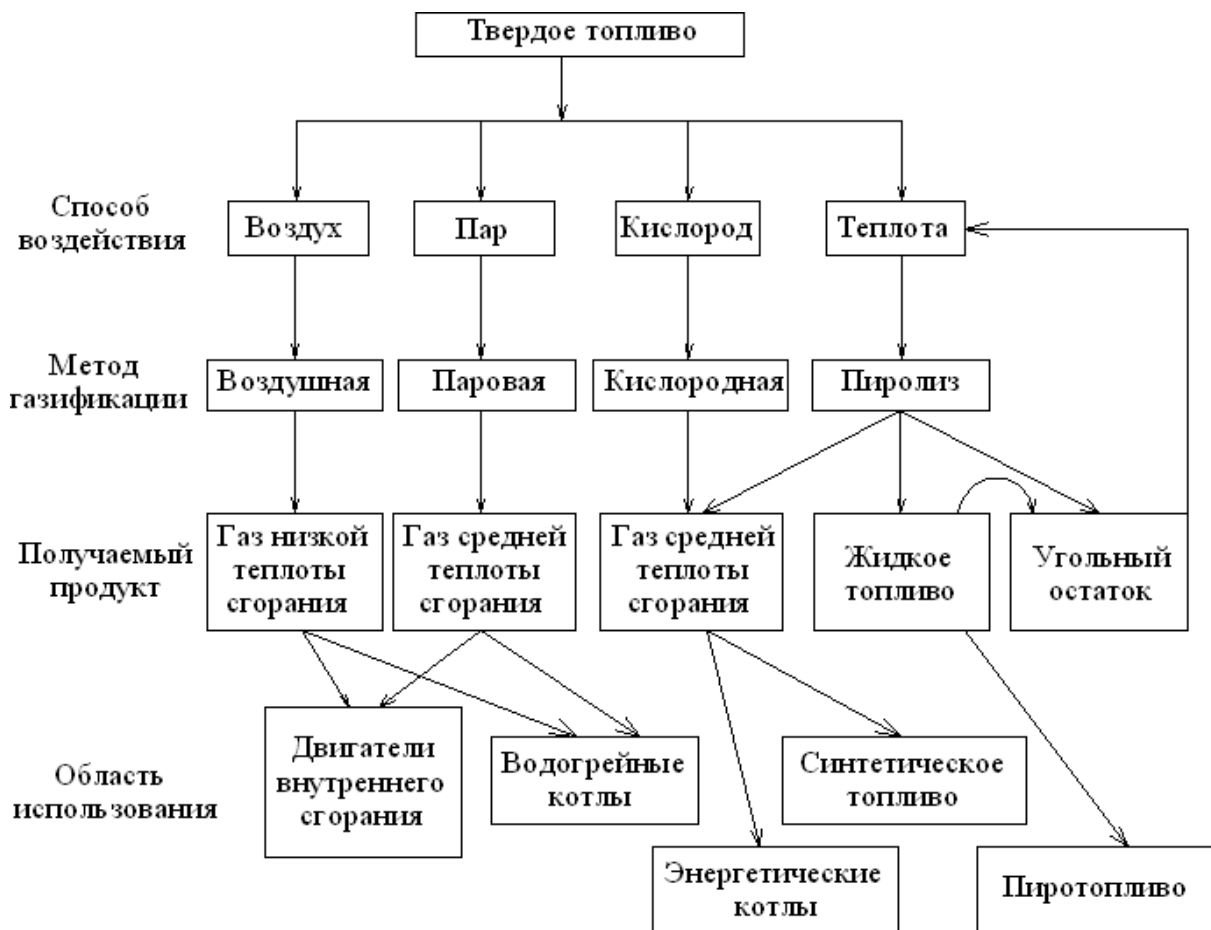


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора

Из рассматриваемых самый простой – это метод, при котором процесс газификации происходит только за счет кислорода воздуха. Углистый остаток, полученный в процессе пиролиза в газогенераторе, сжигается с ограниченным доступом воздуха (обычно коэффициент избытка воздуха равен 1,25). Продуктом газификации является воздушный генераторный газ с низкой теплотой сгорания, состоящий преимущественно из водорода и окиси углерода, разбавленный азотом воздуха и некоторым количеством углекислоты.

В воздухе, как известно, содержится 21 % кислорода, который отвечает за интенсивность процесса газификации, поэтому температура в реакторе определяется скоростью подачи этого воздуха и скоростью подачи топлива. Небольшой подвод воздуха приводит к очень низкой температуре слоя, в результате производится меньше газа и повышается содержание в нем смол.

Низшая теплота сгорания воздушного генераторного газа 3,5...4,8 МДж/нм³, что делает возможным его использование в котлах и двигателях

внутреннего сгорания. Но такой газ не пригоден для сжигания в камерах сгорания газовых турбин и для транспортировки по трубопроводам на большие расстояния.

В отличие от газификации воздухом, газификация паром требует внешнего источника теплоты, если пар используется в качестве единственного газифицирующего агента. В этом случае получают преимущественно водород, окись углерода и отчасти углекислота, к которым примешивается водяной пар. Также подачей водяного пара можно существенно снизить температуры в зоне восстановления и повысить теплоту получаемого смешанного газа за счет образования дополнительного количества CO и H₂. Получаемый при этом газ называется водяным генераторным газом. Сравнивая с воздушной газификацией, при газификации паром получается газ с более высокой теплотой сгорания.

Одновременное использование пара и воздуха в качестве газифицирующего агента не является редкостью. В результате получается смесь воздушного и водяного газов (окись углерода, водород, углекислота, азот и водяной пар). Эта смесь газов называется смешанным, или паровоздушным газом [4].

В таком случае кислород воздуха помогает обеспечить необходимую энергию за счет экзотермической реакции горения топлива. Повышенная температура помогает в ускорении процесса выхода летучих из топлива. А пар вступает в реакцию с окисью углерода для получения водорода и углекислого газа. Взаимодействие газовой фазы с паром при этом определяется реакцией:



Оптимальное количество водяного пара, подаваемого в камеру сгорания газогенератора, зависит от количества теплоты, оставшейся после восстановительных реакций воздушного газа. Избыток водяного пара приводит к снижению температуры в зоне восстановления, что снижает интенсивность процесса газификации и может привести к его прекращению.

Если в качестве газифицирующего агента используется чистый кислород, то генераторный газ не будет содержать азота – это, безусловно, является его главным преимуществом. Такой газ можно транспортировать по трубопроводам, использовать для технологических процессов или в качестве исходного сырья для производства химических продуктов и синтетических топлив. В этом случае, на самой станции или поблизости требуется завод, производящий чистый кислород. С экономической точки зрения это повышает капитальные затраты. Но с другой стороны, теплота сгорания получаемого

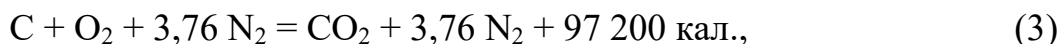
генераторного газа находится на достаточно высоком уровне 10...15 МДж/нм³ [4].

Газогенераторный процесс является результатом взаимодействия трех основных компонентов – топлива, воздуха и гигроскопической влаги, содержащейся в топливе. Парам воды, всегда находящимися в воздухе, обычно в расчетах пренебрегают ввиду их сравнительно небольшого количества. По характеру направления газового потока в газогенераторе различают прямой, опрокинутый (или обратный) и горизонтальный процессы. При газификации по прямому процессу, имеющему большое распространение в стационарной технике, воздух, необходимый для газификации твердого топлива, подводится в нижнюю часть генератора. Газовый поток при этом движется сквозь топливо снизу-вверх. В месте соприкосновения раскаленного топлива с воздухом, на колосниковой решетке, протекает процесс горения [2].

Углерод топлива соединяется с кислородом воздуха. Это соединение, согласно современным воззрениям на процесс горения твердого топлива, идет сложными и еще не вполне изученными путями. Реакция, по которой конечный результат взаимодействия углерода С с кислородом O₂ может быть выражен уравнением

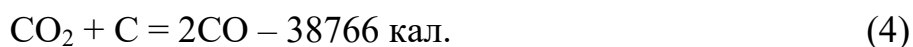


Зона, в которой происходит процесс сгорания углерода С топлива и переход в углекислый газ CO₂, называется зоной горения или окисления. Реакция (2) идет с большим выделением тепла Q. Если учесть, что в воздухе, подаваемом в газогенератор, помимо кислорода, присутствует еще азот, не участвующий в реакции, то уравнение (2) для 1 моля углерода С будет иметь вид:



где 97200 – тепловой эффект реакции, кал.

Если бы газогенераторный процесс на этом закончился, то газ нельзя было бы использовать в двигателе как топливо, потому что CO₂ является продуктом полного сгорания углерода С и не содержит химической энергии. За счет избытка тепла, получаемого в зоне горения, нагревается верхний слой топлива. Проходит через него, продукты полного сгорания восстанавливаются по реакции:



Реакция (4) проходит с поглощением тепла.

Таким образом, тепло, выделившееся в зоне горения, полезно используется в восстановительной зоне для получения продуктов неполного горения.

Помимо редукции CO_2 в зоне восстановления идет эндотермическая реакция разложения паров воды по уравнению:



Водяной пар, участвующий в этой реакции, может быть получен в результате распада клетчатки топлива (так называемая химическая вода) и за счет гигроскопической влаги топлива. При прямом процессе в реакции водяного газа участвует главным образом химическая вода. Зоны горения и восстановления составляют вместе так называемую активную зону, в которой идут основные реакции газогенераторного процесса. Температурные условия слоев топлива, лежащих над активной зоной, не обеспечивают протекание указанных реакций. Однако они являются достаточными для процесса сухой перегонки. Сухой перегонкой, как известно, называется процесс, идущий при нагревании топлива без доступа воздуха до определенной температуры.

При работе газогенератора на древесном топливе в его верхних слоях идет сухая перегонка древесины. При нагревании топлива до 100°C оно подсушивается. До тех пор, пока не испарится вся гигроскопическая влага, температура топлива не поднимается. После окончания подсушки температура начинает быстро повышаться. Выделяющиеся из древесины продукты сначала желтеют, а затем принимают бурую окраску. При нагревании выше 280°C начинается бурное разложение древесины, которое идет экзотермично и заканчивается в основном к 400°C .

В результате сухой перегонки получается около сотни самых разнообразных твердых, жидких и газообразных продуктов, среди которых особое значение для газогенераторного процесса имеют тяжелые углеводороды и смолистые вещества. Таким образом, над активной зоной при прямом процессе последовательно располагаются зона сухой перегонки и зона подсушки. При отборе газа в верхней части газогенератора продукты газификации механически смешиваются с продуктами, полученными в верхних слоях топлива, что при работе на топливе с большим содержанием смолистых веществ является недопустимым, если газ предназначен для двигателя.

В середине прошлого века большое распространение получили транспортные газогенераторы, работающие по опрокинутому процессу. В этом случае воздух подводится к средней части газогенератора, продукты отводятся снизу. При таком направлении газового потока зона горения располагается над восстановительным слоем топлива, а зоны подсушки и сухой перегонки остаются на прежнем месте. Теперь продукты, получающиеся в верхней части газогенератора, не могут механически смешаться с генераторным газом, а должны пройти зону высоких температур, прежде чем выйти из генератора.

При прохождении через активную зону часть продуктов сухой перегонки должна сгореть, а часть водяных паров разложиться. В атмосфере высокой температуры часть продуктов сухой перегонки крекируется.

Газовый поток может быть также направлен горизонтально. При этом габариты газогенератора несколько уменьшаются за счет сокращения нижней части. Зоны подсушки и сухой перегонки располагаются по-прежнему над активной зоной. Горизонтальное расположение активной зоны применяется также и в скоростных газогенераторах. Отметим, что в скоростных газогенераторах отсутствует резкое деление активного слоя на зоны горения и восстановления. Объем активной зоны, не превышающий обычно нескольких литров, имеет вытянутую грушевидную форму. Результатом процесса газификации, идущего в активной зоне, является CO , поэтому отпадает необходимость в дальнейших химических превращениях.

Горизонтальный скоростной процесс в настоящее время широко применяется при газификации древесного угля. При создании компактной автомобильной газогенераторной установки ближайших лет скоростной процесс, несомненно, сыграет решающую роль. При сравнении прямого и опрокинутого процессов приходится согласиться с тем, что последний имеет ряд преимуществ.

При газификации древесины, как уже указывалось, в верхних слоях топлива выделяются пары воды и продукты сухой перегонки. При газификации по прямому процессу эти продукты смешиваются с генераторным газом. В опрокинутом процессе пары воды и смолистые вещества проходят через активную зону. Пары воды способствуют течению реакции водяного газа в результате которой получаются ценные H_2 и CO , а смола сгорает, повышая температуру активной зоны. При газификации по прямому процессу топливо опускается восстановительную зону непосредственно из зоны сухой перегонки.

В газогенераторах, работающих по опрокинутому процессу, топливо попадает в зону восстановления, пройдя зону горения и поэтому более подготовлено для реакций водяного газа; восстановления CO_2 .

В газогенератор, работающий по опрокинутому процессу можно загружать топливо, не останавливая двигатель, в то время как при работе на прямом процессе это вызывает остановку двигателя.

Высота активной зоны, как будет видно из дальнейшего, имеет большое значение для газогенераторного процесса. В газогенераторе с опрокинутым процессом эта высота строго фиксируется расстоянием от места подачи воздуха до нижнего края камеры газификации. При газификации по прямому процессу высота активной зоны определяется высотой слоя топлива, через который проходит генераторный газ. Высота этого слоя меняется по мере выгорания

топлива. Таким образом, при прямом процессе высота активной зоны может иногда меняться, что усилит колебания химического состава газа.

Из рассмотренных схем видно, что газогенератор состоит из трех основных частей. Верхняя часть, в которой происходит подсушка и сухая перегонка топлива, называется бункером. В бункере сосредоточен 2-3-х часовой запас горючего и топливо подготавливается к процессу газификации. Средняя часть, в которой расположена активная зона, называется топливников или камерой газификации. Нижняя часть газогенератора, находящаяся под камерой газификации или под колосниковой решеткой, называется зольником. Здесь собираются зола и угольная пыль, остающиеся после газификации топлива. Газогенератор является основным элементом установки. Но выходящий из генератора газ не может быть непосредственно подан в двигатель. Высокая температура газа сильно снизила бы коэффициент наполнения двигателя. Кроме того, выходя из генератора, газ уносит с собой мелкие частицы топлива и золу. Попав в цилиндры двигателя, эти твердые примеси увеличили бы износ машины. Поэтому генераторный газ необходимо охладить и очистить от пыли. Обработанный таким образом газ должен быть хорошо перемешан с воздухом для образования рабочей смеси.

Заключение.

Топливо, применяемое в газогенераторах, чрезвычайно разнообразно. Современные тенденции расширить энергетическую базу газогенераторного парка установок нашли отражение в многочисленных конструкциях установок, предназначенных для различных видов топлива. Однако попытки создать «всеядный» газогенератор, приспособленный для работы на многих сортах горючего, сопряжены с большими трудностями. Слишком разнообразны особенности каждого из них. Помимо древесного угля и древесины, наиболее распространенного топлива для газогенераторов, в настоящее время газифицируются антрацит, каменный и бурый угли, торф и соломенные брикеты.

При анализе существующих технических решений газогенераторной транспортной установка можно установить следующий основной ее состав: непосредственно сам газогенератор, система охладителей, очистителей и смесителя. Во многих уже современных установках очистка и охлаждение газа выполняются одновременно и специальных охладителей не имеется.

Исследование всех преимуществ и недостатков современных газогенераторов, кроме того, высокая экологическая безопасность особенно актуальна сегодня, показала, что современные газогенераторные установки по своим техническим параметрам приближаются к лучшим образцам, хотя пока

еще не созданы универсальные газогенераторные установки, которые могли бы работать на разных видах топливной биомассы или на ее смесях.

В заключении можно отметить, что из применяемых транспортных газогенераторов большое распространение получили транспортные газогенераторы, работающие по обратному процессу, когда топливо и воздух движутся в прямотоке, а отбор газа осуществляется снизу. Сочетание скоростной газификации с новыми более совершенными методами очистки и охлаждения газа позволит значительно уменьшить вес и габариты газогенераторной установки транспортного типа. В газогенератор, работающий по опрокинутому процессу можно загружать топливо, не останавливая двигатель, в то время как при работе на прямом процессе это вызывает остановку двигателя.

Хотя сам процесс газификации твердого топлива не новый, но только сейчас изобретаются и разрабатываются новые технологии, которые существенно повышают не только скорость протекания процесса газификации, но и качество газификации самого топлива. Сейчас КПД обычно газогенераторной установки достигает 85%, что обеспечивает перевод автомобиля на генераторный газ с незначительной потерей мощности.

При этом следует отметить, что генераторный газ как моторное топливо вполне обеспечивает двигателю такую же литровую мощность, как и на бензине, если, конечно, в конструкцию машины внести соответствующие дополнения. Эти дополнения логически вытекают из физико-химических особенностей генераторного газа и его высоких антидетонационных качеств, допускающих степени сжатия.

Совершенствование и доработка конструкции отдельных деталей установки, создание приспособлений для автоматического розжига и максимальное облегчение обслуживания чрезвычайно важны для эксплуатации газогенераторов. Также важно дальнейшее улучшение и удешевление технологического процесса производства транспортных генераторов.

Библиографический список

1. *Гинзбург, Д.М.* Газификация топлива и генераторные установки / Д.М. Гинзбург. – Москва, 1938. – 386 с.
2. *Иванова, И.В.* Теплоэнергетические установки для сжигания биомассы / И.В. Иванова, Н.Д. Ходорыч // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. – 410 с. – С. 364-372.
3. *Тренклер, Г.Р.* Газогенераторы / Г.Р. Тренклер, пер. с нем. и переработка Н.Н. Лазарева. – Москва: Госэнергоиздат, 1933. – 435 с.
4. *Алешина, А.С.* Газификация твердого топлива: учеб. пособие / А.С. Алешина, В.В. Сергеев. – Санкт-Петербург: изд-во Политех.ун-та, 2010. – 202 с.

5. *Иванова, И.В.* Современные методы получения энергии из биомассы / И.В. Иванова, В.Е. Тюляков // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019.– 410 с. – С. 336-345.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	kas.spb.lta@mail.ru
ФИО	Иванов М.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3904-1560
e-mail	ltuttsu@mail.ru

Аннотация

Исследование всех преимуществ и недостатков современных газогенераторов, кроме того, высокая экологическая безопасность особенно актуальна сегодня, показала, что современные газогенераторные установки по своим техническим параметрам приближаются к лучшим образцам. Из применяемых транспортных газогенераторов большое распространение получили транспортные газогенераторы, работающие по обратному процессу, когда топливо и воздух движутся в прямотоке, а отбор газа осуществляется снизу. Сочетание скоростной газификации, при этом не требующей остановки двигателя, с новыми более совершенными методами очистки и охлаждения газа позволит значительно уменьшить вес и габариты газогенераторной установки транспортного типа.

Ключевые слова: генераторный газ, водяной генераторный газ, прямой процесс, опрокинутый процесс, транспортный газогенератор.

УДК 662.76

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 61.53.19

Топочные устройства для прямого сжигания древесных отходов

Иванова И.В., Куликов А.А., Прохоров В.А., Иванов М.М.

Введение

Россия обладает огромными запасами биоресурсов, включая сельскохозяйственные и лесные отходы. Количество органических отходов разных отраслей народного хозяйства России составляет 390 млн. т., а в то же время часть территории России не имеет надежного централизованного энергоснабжения. Для использования сухой биомассы наиболее эффективны термохимические технологии (прямое сжигание, газификация, пиролиз и т.п.). Для влажной биомассы – биохимические технологии переработки с получением биогаза (анаэробное разложение органического сырья) или жидких биотоплив (процессы сбраживания). Одной из хорошо изученной и достаточно широко применяемой является технология прямого сжигания, которая представляет собой наиболее очевидный способ извлечения энергии из биомассы. Она проста, хорошо изучена и коммерчески доступна. Тепло, получаемое при сжигании биомассы, может использоваться для отопления и горячего водоснабжения, для производства электроэнергии и в промышленных процессах [1, 2].

Содержание статьи.

Целью работы является исследование основных топочных устройств, предназначенных для прямого сжигания древесных отходов.

Анализируя опыт проектирования и эксплуатации зарубежных топочных устройства для прямого сжигания биомассы, можно отметить следующие особенности.

1. Если в нашей стране вопрос о сжигании не находящей технологического применения биомассы, включая сельскохозяйственные низкосортные древесные отходы и кору, рассматривается в основном применительно к малой энергетике, то за рубежом эти топлива широко применяются и в большой энергетике. Соответствующие топочные устройства, поэтому рассчитываются в зарубежных странах не только на котлы промышленной теплоэнергетики, но и на мощные котлы. Имеются в виду котельные агрегаты паротурбинных электростанций с паропроизводительностью до 550 т/ч.
2. В промышленной теплоэнергетике западных стран биомасса очень часто сжигается не только в паровых, но и в водогрейных котлах. Например, только во Франции более 30 различных фирм разработали в общей сложности не менее 100 конструкций топочных устройств, работающих на древесных отходах, применительно к их сжиганию именно водогрейными котлами.
3. Если в отечественной промышленной энергетике применяются исключительно водотрубные котлы, то за рубежом достаточно широко используются и газотрубные. Поэтому часть топочных устройств для сжигания биомассы рассчитывается и на использование в газотурбинных котлах.
4. Большинство используемых за рубежом для сжигания биомассы камерных топок основано на широко известных у нас принципах, достаточно полно описанных в специальной отечественной технической литературе [3, 4]. Сюда относятся различные разновидности вихревых и циклонных топок и предтопок, а также топок с кипящим или псевдосжиженным слоем. В западных странах эти топки рекомендуются в основном для энергетических котлов большой и средней мощности. Поэтому проанализируем только ряд известных у нас своеобразных принципов слоевого сжигания биомассы, которые используются за рубежом именно для котлов промышленных и промышленно-отопительных котельных относительно небольшой производительности.

Обилие конструкций таких слоевых топок или предтопок, а также некоторых топок, как бы занимающих промежуточное положение, делает целесообразным рассмотрение только основных принципов их работы, выделяя характерные группы:

I. Топки с неподвижными колосниковыми решетками.

1. Кучевые топки с горизонтальной колосниковой решеткой и верхней подачей топлива (рис. 1, а). Топливо подается шнековыми или другими питателями сверху. Горячий дутьевой первичный воздух тангенциально подводится с достаточно высокой скоростью через амбразуры во всех боковых стенах предтопка, что способствует газификации и горению топлива по всему объему, в том числе и в углах предтопка. Вторичный воздух вводится на уровне выхода предтопка в топку. Сам предтопок, таким образом, в основном играет роль генератора газа, который сгорает далее. Боковые стены предтопка выполняются как огнеупорный пояс и в некоторых конструкциях выполняются из жаропрочного и огнеупорного бетона. Верхний свод, напротив, экранируется кипяtilьными трубами, включенными в циркуляционный контур котла. Такие топки рекламируются как особо надежные в работе. В некоторых случаях с котлом периодически работают два таких предтопка, что облегчает чистку того из них, который в данный момент не работает. В таких топках сжигают древесные отходы и другую биомассу с очень высокой влажностью, достигающей 65 % и даже более. В ряде конструкций таких топок используется механизированное скребковое золоудаление.

2. То же самое, но с нижней подачей топлива (рис. 1, б). В этом случае топливо подается на решетку снизу и поверхность топлива не охлаждается вновь подаваемыми его порциями. Однако относительно большая толщина слоя топлива приводит к тому, что такие предтопки рекомендуются для сжигания менее влажной биомассы. В частности, в них сжигают древесные отходы с относительной влажностью порядка 45 %. Остальные особенности такой топки те же, что и топок рис. 1, а.

3. Кучевые топки с конической колосниковой решеткой и нижней (рис. 1, в) или верхней (рис. 1, г) подачей топлива. Такие топки рекомендуются для высоковлажных топлив и облегчают золоудаление, которое производится шнеками из специальных желобов с периферии пода топки. Остальные особенности этих топок те же, что и топок рис. 1, а. Отметим, что все топочные устройства с нижней подачей топлива в западных странах называют также стокерами.

Основной особенностью всех описанных компоновок кучевых топок является то, что первичный воздух подается через тангенциальные амбразуры не под колосниковые решетки, а над ними, и, таким образом, не ставится задача продуть первичным воздухом слой топлива. В то же время выпускающие эти топки фирмы утверждают, что эта особенность при своевременном периодическом или непрерывном золоудалении и при рациональном расположении амбразур, обеспечивающем хорошее перемешивание летучих с

окислителем, не приводит к увеличению механического и химического недожога.

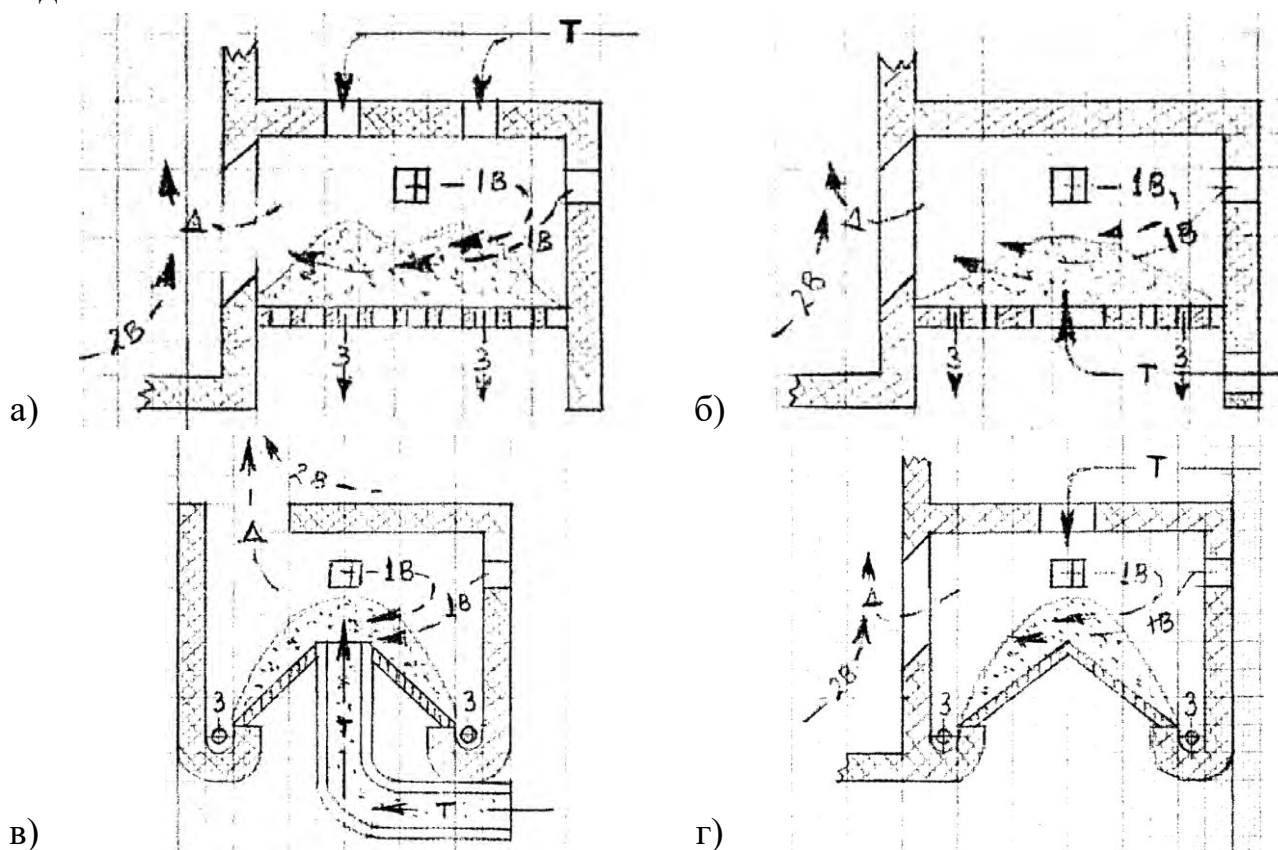


Рис. 1. Кучевые топки: Т – топливо; 1В – первичный воздух; 2В – вторичный воздух; Д – дымовые газы; 3 – зола

II. Топки с ограниченно подвижными горизонтальными колосниковыми решетками (рис. 2).

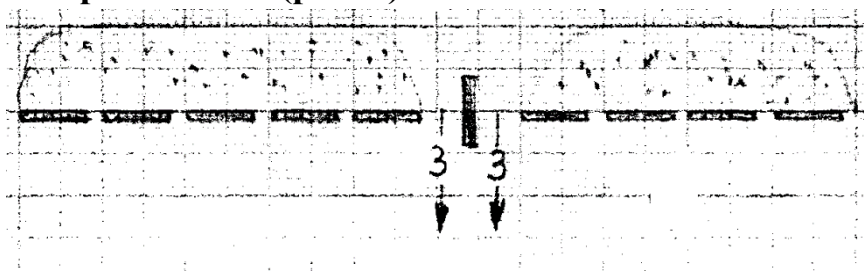


Рис. 2. Топки с ограниченными горизонтальными колосниковыми решетками

1. Топки с качающимися колосниками. Колосники топки могут поворачиваться на 90° . Особенностью ее является то, что решетка разделена на секции и в то время, как в одной секции происходит взламывание шлака и сброс золы, на других колосниках решетки продолжается нормальное горение. Топки снабжаются забрасывателями, напоминающими отечественные пневмомеханические забрасыватели (ПМЗ), которые в отечественной практике для забрасывания древесных отходов никогда не применяются.

2. Топки с вибрирующими горизонтальными колосниковыми решетками. В этом случае слой топлива движется к краю колосниковой решетки за счет ее вибрации, создаваемой маховиком с эксцентрик и

постепенно сохнет и выгорает. Такие конструкции топок позволяют значительно снизить как механический, так и химический недожог и широко используются для древесных отходов.

III. Топки с неподвижными и вибрирующими наклонными колосниковыми решетками.

Этот тип топок чрезвычайно распространен и насчитывает десятки конкретных конструкций. Они отличаются в основном углом наклона колосниковой решетки, который может быть постоянным или изменяющимся по ходу топлива, конструктивным оформлением колосников, их опорных балок и т.д. Обращают на себя внимание следующие две разновидности топок рассматриваемого типа.

1. Топки с подводом воздуха через игольчатые отверстия колосников.

В этих топках колосники крепятся на балках, включенных в циркуляционный контур котла, а воздух подводится по зонам через мелкие, игольчатые отверстия, насверленные в колосниках, это по утверждению авторов этих топок, способствует наиболее равномерному и управляемому распределению первичного воздуха.

2. Топки с наклонными, вибрирующими проталкивающими колосниками (рис. 3). В этих топочных устройствах топливо движется с относительно небольшим углом наклона, побуждаемое вибрирующими в определенной последовательности колосниками. Это создает некоторое подобие волнообразного движения сходящего по колосникам топлива. И сами колосники и вибропроводы к ним выполняются водоохлажденными. Топки пригодны для самых трудносжигаемых топлив, однако стоимость их достаточно высока.

IV. Топки с подвижными горизонтальными колосниковыми решетками. Этот тип топок широко распространен у нас, однако в нашей практике используется только для сжигания антрацита и каменных углей. За рубежом такой тип топок широко применяется и для сжигания древесных отходов. При этом питатели для этих топлив устанавливаются с таким расчетом, чтобы топливо до попадания на подвижную решетку уже пролетело в топочном объеме путь от 1 до 4 м. Это способствует предварительному прогреву топлива и частичному выгоранию его наиболее мелких фракций на лету.

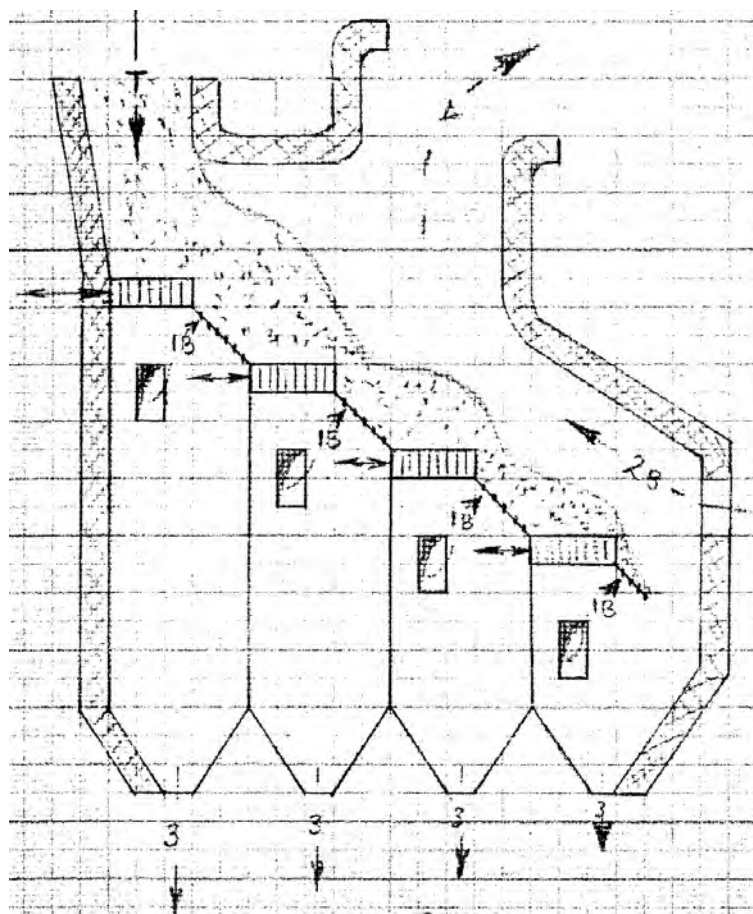


Рис. 3. Топка с вибрирующими проталкивающими колосниками

V. Комбинированные слоевые топки. Применяются самые различные комбинации указанных типов толок. Например, топка с подводом воздуха через игольчатые отверстия неподвижных наклонных колосников (1-ый этап горения) дополняется вибрирующими переталкивающими колосниками (2-ой этап горения) и т.д. Широко распространены также комбинации различных типов слоевых топок или предтопок с камерными топками.

Заключение.

Многие страны проводят интенсивные исследования по развитию энергетики, основанной на использовании возобновляемых природных ресурсов, в первую очередь древесины. Древесина традиционно использовалась человеком в качестве основного источника получения тепловой энергии на протяжении тысячелетий развития цивилизации. Ее применение в таком качестве практически не прекращалось, особенно в регионах, имеющих достаточно высокие запасы лесных ресурсов. Данное обстоятельство позволило рассматривать древесину как биотопливо при развитии альтернативной энергетики на промышленной основе. Россия обладает огромными перспективами в области производства биотоплива. В настоящее время в теплоэнергетике назрела необходимость создания программы по производству биотоплива [1].

В заключение следует отметить, что сами зарубежные специалисты признают, что далеко не все технические проблемы в области прямого сжигания биомасс, и, в частности, древесных отходов, на сегодняшний день успешно решены. На это указывает и многообразие предлагаемых принципов работы топочных устройств для прямого сжигания биомассы. При этом ни одна из конструкций таких топок по существу не является универсально пригодной для биомассы любого состава и, частности, для смеси разнородных древесных отходов. Все это связано с рассмотренными ранее трудностями организации процесса горения биомассы и, в частности, древесных отходов, не только по причине их достаточно неопределенного гранулометрического состава, не главным образом, по той причине, что они относятся к топливам, находящимся в другом агрегатном состоянии, чем окислитель.

Каждый вид древесного биотоплива предполагает применение определенных технологий его производства, транспортировки, хранения и использования (сжигания). На сегодняшний день представляют интерес работы, как по созданию новых топочных устройств, так и по совершенствованию, модернизации уже известных конструкций топок для сжигания древесной биомассы, а также продолжить поиски оптимальных решений для использования отходов лесной промышленности.

Библиографический список

1. Иванова И.В., Тюляков В.Е. Современные методы получения энергии из биомассы // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.– С. 336-345.
2. Федоренчик, А.С. Биотопливо из древесного сырья. / А.С. Федоренчик, А.В. Ледницкий, Н.И. Кожухов, В.Д. Никишов. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. – 384 с.
3. Головкин, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головкин, И.Ф. Коперин, В.И. Найденков. – Москва: Лесн. пром-сть, 1987. – 224 с.
4. Алешина, А.С. Газификация твердого топлива: учеб. пособие / А.С. Алешина, В.В. Сергеев. – Санкт-Петербург: изд-во Политех.ун-та, 2010. – 202 с.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Куликов А.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7746-2999
e-mail	ltuttsu@mail.ru
ФИО	Прохоров В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3817-3390
e-mail	Proxorov_lta@mail.ru
ФИО	Иванов М.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3904-1560
e-mail	ltuttsu@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены основные принципы работы топочных устройств для прямого сжигания биомассы. Россия обладает огромными потенциалами в сфере использования биомассы. Одной из хорошо изученной и достаточно широко применяемой является технология прямого сжигания, которая представляет собой наиболее очевидный способ извлечения энергии из биомассы. Она проста, хорошо изучена и коммерчески доступна. Но далеко не все технические проблемы в области прямого сжигания биомасс, и, в частности, древесных отходов, на сегодняшний день успешно решены. На это указывает и многообразие предлагаемых конструкций топочных устройств. При этом ни одна из существующих конструкций таких топок по существу не является универсально и пригодной для биомассы любого состава и, частности, для смеси разнородных древесных отходов.

Ключевые слова: биомасса, древесные отходы, прямое сжигание, колосниковые решетки, топочное устройство.

УДК 621.182

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.33

Особенности выбора толщины цилиндрической теплоизоляции

Куликов А.А., Иванова И.В., Прохоров В.А., Иванов М.М.

Введение

Поиск технических решений, направленных на повышение эффективности энергетического оборудования, в частности эффективной теплоизоляции, является актуальной проблемой. Существенную роль при выборе технических решений играет теоретическое обоснование их эффективности.

Содержание статьи.

Целью работы является совершенствование теоретических методов, применяемых в инженерной практике для повышения эффективности теплового оборудования. Достигается это путем постановки и решения задачи для аналитического исследования.

Методика исследования состоит в составлении физической модели процесса и разработке на его базе способа анализа технических решений.

Рассмотрим бесконечную трубу, покрытую цилиндрической теплоизоляцией, ось которой совпадает с осью z цилиндрической системы координат (рис. 1). На этой схеме t_1 , t_2 и t_3 это температуры соответствующих поверхностей: t_1 – внутренней поверхности трубы, °С; t_2 – внешней поверхности трубы или внутренней поверхности теплоизоляции (они совпадают), °С; t_3 – внешней поверхности теплоизоляции, °С.

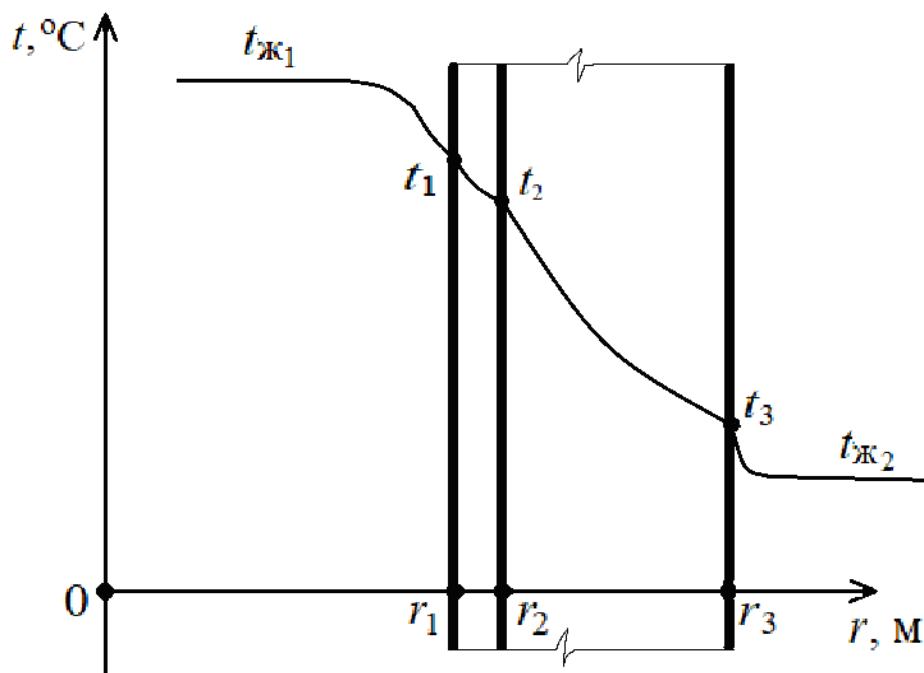


Рис. 1. Расчетная схема теплоизолированной трубы

Внутри трубы движется некоторая жидкость с постоянной средней температурой $t_{ж1}$. Снаружи труба омывается некоторой жидкостью, температура которой $t_{ж2}$. На внутренней поверхности трубы и на внешней поверхности теплоизоляции происходит теплоотдача с коэффициентами теплоотдачи α_1 и α_2 соответственно.

Толщина трубы δ_T , м, равна разности:

$$\delta_T = (r_2 - r_1), \quad (1)$$

где r_1 и r_2 – внутренний и наружный радиусы трубы соответственно, м.

Толщина изоляции $\delta_{из}$, м, равна разности:

$$\delta_{из} = (r_3 - r_2), \quad (2)$$

где r_3 – наружный радиус изоляцией, м.

Коэффициенты теплопроводности материала трубы λ_1 и теплоизоляции λ_2 соответственно, Вт/(м · К).

Очевидно, что рассматриваемый случай соответствует задаче теплопроводности для двухслойной стенки с граничными условиями третьего рода. Соответствующее распределение температуры, зависящее в этой задаче только от одной цилиндрической координаты r , схематично представлено на рис. 1.

Значение линейной плотности теплового потока q_l в рассматриваемом случае вычисляется по известной формуле [1]:

$$q_l = \frac{\pi(t_{ж1} - t_{ж2})}{\frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_3}}, \quad (3)$$

где d_1, d_2, d_3 – диаметры соответствующих поверхностей, м, при этом $d_1 = 2r_1, d_2 = 2r_2, d_3 = 2r_3$, м.

Величина q_l численно равна количеству теплоты, которое передается за 1 секунду с участка трубы длиной 1 метр от одной жидкости к другой (в практических случаях это потери теплоты от 1 м трубопровода в секунду).

Так как толщину изоляции должен выбирать конструктор, то в (3) можно считать заданными все величины, кроме d_3 – внешнего диаметра изоляции, который однозначно по (2) определяет ее толщину. Это означает, что при выборе изоляции формулу (3) можно рассматривать как зависимость q_l от одной переменной величины d_3 :

$$q_l = q_l(d_3). \quad (4)$$

Более конкретно можно сказать, что от d_3 будет зависеть только знаменатель в правой части равенства (3), который называется полным

линейным термическим сопротивлением двухслойной цилиндрической стенки R_l , (м · К)/Вт:

$$R_l = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_1} \cdot \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_2} \cdot \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_3} \quad (5)$$

Очевидно, что от d_3 в (5) зависят третье и четвертое слагаемые. Причем с увеличением d_3 третье слагаемое возрастает, а четвертое – уменьшается. Это означает, что величина $R_l(d_3)$, в общем случае, может при некоторых значениях d_3 иметь минимум – принимать минимальное значение.

Из (3) очевидно, что при минимальном значении R_l потери теплоты с 1 м трубопровода будут максимальными. Это показывает, что в отдельных случаях увеличение толщины изоляции будет приводить к увеличению тепловых потерь, то есть к обратному эффекту. Очевидно, что такая конструкция теплоизолированного трубопровода недопустима.

Для правильного выбора изоляции трубопровода проанализируем (5) подробнее. Чтобы из (5) определить условия, при которых величина R_l имеет минимальное значение, необходимо, как известно из математики [2] вычислить производную от $R_l(d_3)$ по d_3 и приравнять ее нулю:

$$\frac{d}{d(d_3)} \cdot R_l(d_3) = R'_l d_3 = \frac{1}{2\lambda_2 d_3} - \frac{1}{\alpha_2 \cdot d_3^2} = 0 \quad (6)$$

Из (6) получаем:

$$d_3 = \frac{2\lambda_2}{\alpha_2} \quad \text{или} \quad r_3 = \frac{\lambda_2}{\alpha_2} \quad (7)$$

Равенство (7) показывает, что если внешний диаметр теплоизоляционного слоя d_3 будет равен $\frac{2\lambda_2}{\alpha_2}$, то полное линейное термическое сопротивление будет минимальным, а значит, тепловые потери будут максимальными.

Очевидно, что в любом конкретном случае нам известны: коэффициент теплопроводности материала λ_2 , из которого сделана теплоизоляция; условия омывания внешней поверхности теплоизоляции жидкостью, то есть известен коэффициент теплоотдачи α_2 . Таким образом, в каждом конкретном случае

отношение $\frac{2\lambda_2}{\alpha_2}$ – это конкретное число, имеющее размерность метр. Это число называется критическим диаметром изоляции $d_{кр}$, м.

Критичность числа $\frac{2\lambda_2}{\alpha_2}$ объясняется следующим. Если конструктор для некоторой трубы, с внешним радиусом r_2 , имея теплоизоляционный материал с коэффициентом теплопроводности λ_2 , по ошибке предложил толщину изоляции

$\delta_{\text{из}}$ равную $\left(\frac{\lambda_2}{\alpha_2} - r_2\right)$, то он тем самым увеличил тепловые потери от этой трубы до максимально возможной величины.

Правильный выбор теплоизоляции трубы должен обеспечивать снижение тепловых потерь до требуемого уровня при минимальных затратах на теплоизоляцию.

Обеспечить правильность выбора теплоизоляции можно на базе анализа условия (7) с помощью схемы, приведенной на рис. 2.

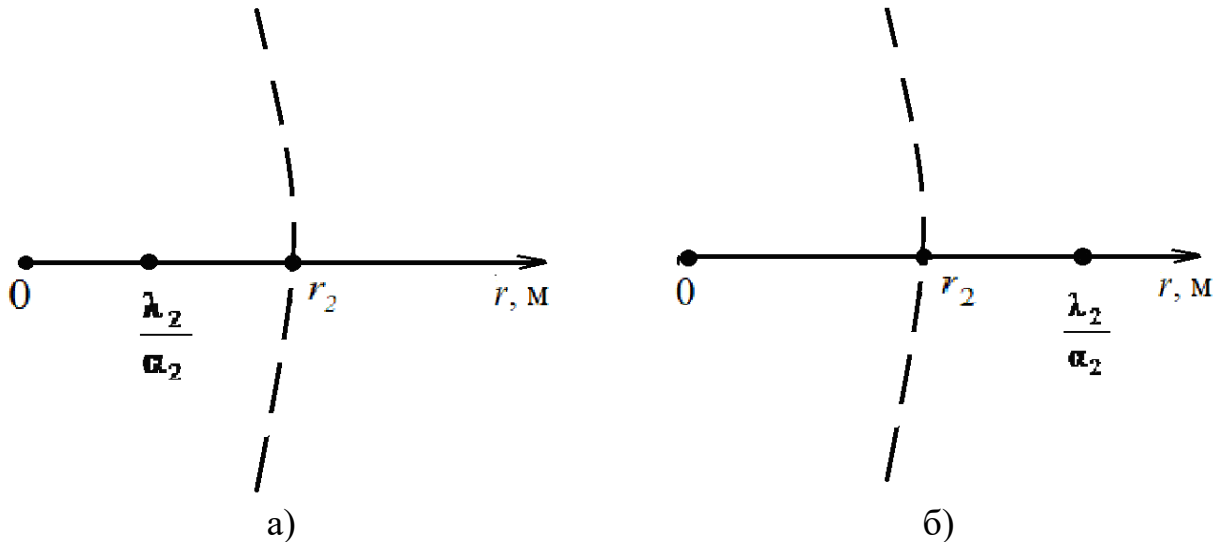


Рис. 2. Схема возможных вариантов конструктивного выполнения теплоизоляции трубы

а) случай, когда $r_2 \geq \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$; б) случай, когда $r_2 < \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$

На схеме (рис. 2) рассмотрены варианты конструктивного выполнения теплоизоляции трубы: возможны только два случая.

В первом случае (случай а) на рис. 2) внутренний радиус изоляции r_2 больше или равен числу $\frac{\lambda_2}{\alpha_2}$, во втором (случай б) на рис. 2) – r_2 меньше числа $\frac{\lambda_2}{\alpha_2}$.

Отметим, что при наличии изоляции обязательно должно выполняться

условие $r_3 > r_2$. Из этого следует, что когда $r_2 \geq \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$, то условие (7) не может быть

выполнено. (Если r_3 было бы равно $\frac{\lambda_2}{\alpha_2}$, то получилось бы, что $r_2 \geq r_3$, что невозможно при наличии изоляции), То есть производная от R_l по d_3 никогда не будет равна нулю. Это означает, что при этих условиях (рис. 2, а) у функции R_l

не будет минимума при любых r_3 . То есть с ростом r_3 значение R_l будет монотонно возрастать. Это значит, что с ростом толщины изоляции значение q_l будет монотонно уменьшаться. Схематично такая зависимость q_l от $\delta_{из}$ представлена на рис. 2, а.

Следовательно, задача конструктора при этих условиях сводится к выбору такой толщины изоляции, которая соответствует требованиям по тепловым потерям.

Во втором случае (рис. 2, б), когда $r_2 < \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$, условие (7) может быть

$$r_3 = \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$$

выполнено. Это означает, что при $r_3 > r_2$, а у функции R_l будет минимум. То есть с ростом r_3 в этом случае (рис. 2, б) значение R_l сначала будет уменьшаться, затем достигнет своего минимального значения и только после этого начнет постепенно возрастать. Это означает, что по мере роста толщины изоляции, сначала тепловые потери будут возрастать, потом достигнут своего максимального

значения при $r_3 = \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$ или при $\delta_{из} = \frac{\lambda_2}{\alpha_2} - r_2$.

При дальнейшем увеличении толщины изоляции тепловые потери начнут снижаться и только после дополнительного утолщения изоляции до значения δ_0 достигнут первоначального значения (когда изоляция не было вообще). И уже только после этого, если продолжать увеличивать толщину изоляции, тепловые потери от трубы начнут снижаться. Схематично такая зависимость q_l от $\delta_{из}$ представлена на рис. 3, б. Следовательно, изолировать трубу в этом случае нецелесообразно.

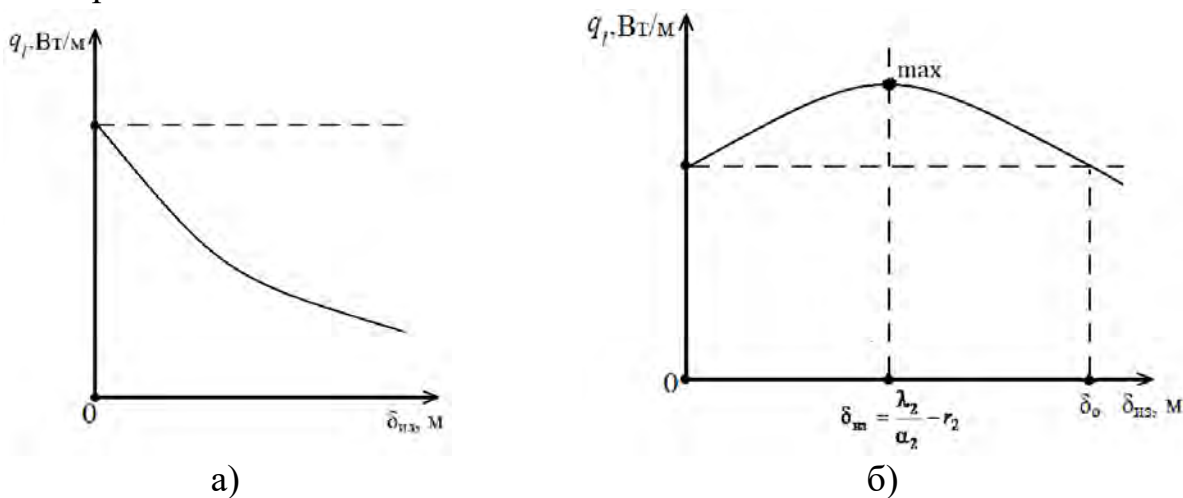


Рис. 3. Зависимость q_l от $\delta_{из}$:

а) случай, когда $r_2 \geq \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$;

б) случай, когда $r_2 < \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$

В практических задачах при необходимости перехода от ситуации, когда $r_2 < \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$, к ситуации, когда $r_2 \geq \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$ необходимо выбрать другой теплоизоляционный материал, с меньшим коэффициентом теплопроводности λ_2 . Если это не решает проблему, то остается только одно – увеличивать диаметр трубопровода d_2 .

В практических задачах при необходимости перехода от ситуации, когда $r_2 < \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$, к ситуации, когда $r_2 \geq \frac{\lambda_2}{\alpha_2}$, необходимо выбрать другой теплоизоляционный материал с меньшим коэффициентом теплопроводности λ_2 . Если это не решает проблему, то остается только одно – увеличивать диаметр трубопровода d_2 .

Заключение.

На базе модели, описывающей процесс потери теплоты от теплоизолированного трубопровода, проведен анализ особенностей физического механизма теплообмена для общего случая. Из этого анализа сделаны практические выводы для конкретных частных случаев конструктивного выполнения цилиндрической изоляции.

Библиографический список

1. *Исаченко, В.П.* Теплопередача: учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел, изд. 3-е, перераб. и доп. – Москва: Энергия. 1975. – 488 с.
2. *Бронштейн, И.Н.* Справочник по математике / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. – Москва: Государственное изд-во технико-теоретической литературы, 1953. – 608 с.

Сведения об авторах

ФИО Куликов А.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7746-2999
e-mail ltuttsu@mail.ru

ФИО Иванова И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

ФИО Прохоров В.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3817-3390
e-mail Proxorov_lta@mail.ru

ФИО Иванов М.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3904-1560
e-mail ltuttsu@mail.ru

Аннотация

На базе модели, описывающей процесс потери теплоты от теплоизолированного трубопровода, проведен анализ особенностей физического механизма теплообмена для общего случая. Из этого анализа сделаны практические выводы для конкретных частных случаев конструктивного выполнения цилиндрической изоляции.

Ключевые слова: физическая модель, трубопровод, теплоизоляция, температура поверхности, теплопроводность.

УДК 662.998

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.03

Анализ аварийных ситуаций на теплоэлектростанциях

Зотов А.Д., Иванова И.В.

Введение

В России обостряется проблема обеспечения безопасности энергетических объектов. Их дальнейшая разработка и осуществление повышают риск аварий и бедствий, которые могут привести к глобальным последствиям. К сожалению, каждый год в результате несчастных случаев гибнут тысячи людей, и причиняемый ими экологический ущерб является непоправимым. Низкая экологическая культура и отсутствие механизмов борьбы с чрезвычайными ситуациями значительно повышают риск антропогенных катастроф во всех сферах экономической деятельности.

Содержание статьи.

Целью работы является методологический подход к ключевым проблемам промышленной безопасности, анализ и оценка опасности возможных аварий на опасных теплоэнергетических установках. Управление требует разработки новых направлений, учитывающих специфику опасных производственных объектов и нормативные требования в области экологической, пожарной и промышленной безопасности для защиты людей и территорий от чрезвычайных ситуаций.

Одной из причин пожаров в электроустановках является нарушение регламента, регулирующего работу электрооборудования. Не только не удается своевременно потушить пожары, которые причиняют колоссальный материальный ущерб, но и устранить перебои с электроснабжением. В окружающей среде наблюдаются пожары в маслобаках. Пожары характеризуются сильной задымленностью и токсичными продуктами горения.

Повышенная температура и высокая концентрация оксидов углерода могут вызвать смертельную интоксикацию у населения, а именно, в крупных городах, как правило, ТЭЦ расположены в непосредственной близости от населения и, учитывая тот факт, что в большинстве случаев отсутствуют зоны санитарной защиты, соответственно, можно сделать вывод, что воздействие происходит довольно быстро.

В масляных резервуарах пожары могут сопровождаться кипением маслянистой воды, что может вызвать непрерывные пожары в районе нескольких сотен километров от ТЭЦ. Таким образом, основной угрозой или фактором риска работы ТЭЦ, считается нерегулярный, случайный выброс токсичных веществ с прямым повреждением окружающей среды. Среди аварийных обстановок на ТЭЦ можно выделить следующее:

1. быстрое распространение пожаров;
2. взрывы;
3. разрыв трубопроводов;
4. неконтролируемое высвобождение токсичных /горючих жидкостей;
5. наводнение.

Тепловые электростанции – это те, которые имеют значительную пожарную нагрузку. Помимо большого количества горючих веществ, существует пожароопасность, связанная с электрическими кабелями: перегрев электрических кабелей по всей длине, широкая сеть и большое число кабелей.

На тепловых электростанциях выделяют основные типы взрывчатых и горючих материалов, а именно:

- **Уголь.** Он является основным энергетическим топливом. Угольная пыль – ведущий источник взрыва на ТЭЦ. При использовании тонкодисперсной пыли, взвешенной в

воздухе, происходит первичный взрыв, и, как следствие возникают вторичные взрывы, распространяющиеся по всему объекту.

- **Пропан.** Применяется в качестве горючего. Он присутствует в газовых баллонах, трубопроводах, ведущих к горелке, к камере сгорания, к запорному газовому клапану, к блоку управления газовым клапаном, к предохранительному газоотводному клапану.
- **Природный газ.** Он служит в качестве исходного или альтернативного топлива. Газ может присутствовать на газокompрессорных станциях, газоочистительных станциях, газовых обогревателях, запорных клапанах и фильтрах, блоке управления газовыми клапанами и газопроводах.
- **Мазут.** Используется в качестве исходного или альтернативного топлива. Он может находиться в цистернах, в насосах для перекачки мазута, в блоках управления клапанами топливного масла и в гидравлических топливных системах. Топливо воспламеняется при нагреве выше температуры сгорания.
- **Водород.** Применяется в качестве охлаждающей среды для генератора. Присутствует в блоках сбережения водорода, нефтяном уплотнителе, трубопроводах [1].

Согласно статистическим данным (рис. 1), в пределах 90% крупных аварий вызваны неисправностью оборудования, а вслед за тем – пожаром, 10% – ущербом, нанесенным строительным конструкциям. 72% – это доля аварий, которые произошли в машинных отделениях, в котельных – 23% и в кабельных туннелях – в пределах 5% приходится на долю аварий, произошедших в машинных отделениях [2].

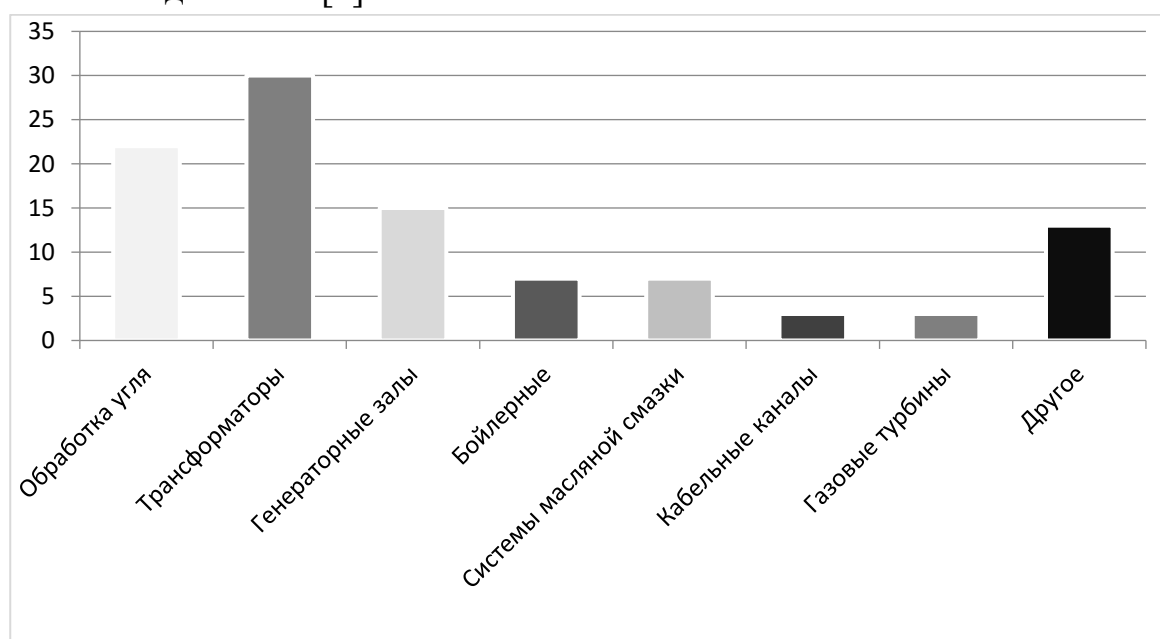


Рис. 1. Анализ мест возникновения пожаров

Проанализируем основные опасности на теплоэнергетических объектах с их краткой характеристикой.

Маслосистемы. Для энергоблоков мощностью 300 МВт, объем нефтяной системы составляет 47 м³, для блоков мощностью 800 МВт – 58 м³. В системах герметизации турбинных генераторов давление составляет около 0,3...0,4 МПа, в системах управления турбинным блоком – 4 МПа.

Масляное турбинное масло используется с температурой воспламенения, равной 180 °С. Масляные системы размещены в непосредственной близости от горячих поверхностей турбины и искр, и каждый изъян в работе оборудования может вызвать возгорание. Когда системы смазки повреждены, пожар быстро распространяется на все объекты. При повреждении трубопроводов выделяется нефть высокого давления, которая образует вспышку, приводящая за короткое время к деформации и коллапсу металлических щеток и металлических конструкций.

Машинный зал. Расположение наибольшей концентрации пожарной нагрузки. Имеются системы смазки генератора, машинное (моторное) масло, электроизоляция обмоток генератора и прочее. Пожары в машинных отделениях в основном связаны с неисправными системами смазки и регулированием маслосодержащих турбоагрегатов.

Мазутохранилища. В котельных цехах, где применяется мазут (рис. 2), давление достигает 30 кгс/см², а температура превышает 120 °С. В аварийной ситуации мазут быстро растекается, а его пары воспламеняются. Соответственно, в течение 10 минут металлические конструкции и каркасы котельных агрегатов могут деформироваться.



Рис. 2. Мазутохранилище в г. Санкт-Петербург, станция метро Кировский завод

В резервуарных парках мазутного хозяйства имеется некоторое количество путей возникновения и развития аварий:

- взрывы в газовом пространстве резервуара;
- пожары в резервуарах;
- гидродинамическая волна прорыва при моментальном раскрытии резервуара.

Основная опасность мазутохранилищ, приводящая к катастрофическим результатам с большим материальным ущербом и гибелью людей, связана с вероятностью полного разрушения резервуара. Процесс разрушения резервуара чрезвычайно быстрый, а ударная сила образовавшейся волны прорыва довольно велика.

Кабельное хозяйство. Состоит из кабельных полуэтажей, туннелей, каналов и галерей. Количество силовых и контрольных кабелей, относящихся к одному крупному энергетическому блоку (300...600 МВт), достигает общей протяженности несколько сотен километров. По территории станций и подстанций потоки многочисленных кабелей прокладываются в кабельных каналах или лотках, которые по мере приближения к посту управления увеличиваются в сечении или даже переходят в кабельные туннели (для кабелей в количестве более 20...30). Для вертикальных прокладок кабельные туннели переходят в шахты тех же сечений.

Кабельные туннели. Кабельные туннели имеют разрез от 2×2 м. По длине разделяются несгораемыми перегородками и дверьми (с пределом огнестойкости не менее 0,75 ч) на отсеки; длина одного отсека кабельного туннеля не выше 40 м (при условии, что он расположен под зданием) или же 100...150 м (за пределами зданий) – в соответствии с п. 4.71 СНиП II-58–75 («Электростанции тепловые»). В каждом отсеке имеется не менее двух люков, системы вентиляции и канализации.

Кабельные короба. Секционируются противопожарными перемычками из несгораемых материалов (огнестойкость не менее 0,75 ч). Расстояние между перемычками на горизонтальных участках в кабельных коробах – не больше 30 м.

Основной причиной возникновения коротких замыканий в электрокабелях чаще всего является перенапряжение электросети, нарушение токопроводящих частей (контактов) ввиду механического повреждения в процессе монтажа и эксплуатации или же воздействия влаги. Тепловое старение электроизоляционных материалов наиболее часто возникает ввиду перегрузки электросетей токами, превышающими допустимые значения для данного сечения кабеля.

Особенностями пожара в кабельных помещениях являются:

1. высокая температура;
2. сильное задымление;

3. большая скорость распространения пламени и дыма;
4. скорость подъема температуры – в среднем 35...50 град./мин.

Трансформаторы. Трансформаторы и переключатели распределительных устройств устанавливаются на фундаментах, под которыми установлены масляные приемники, интегрированные с аварийными резервуарами. В каждом трансформаторе содержится около 100 тонн нефти. При коротком контуре воздействия электрической дуги на разложение трансформаторного масла, на горючие газы происходят взрывы, то есть разрушение трансформаторов, распространение горящего масла. Пожары в помещениях, где установлены трансформаторы, могут распространяться по кабельным каналам или в туннелях.

Оборудование российских систем энергетики в значительной степени изношено – это является одним из важных факторов возможного возникновения пожаров. Вероятность выхода из строя трансформатора (рис. 3) вследствие пожара растет с его возрастом[3].



Рис. 3. Здание трансформаторной подстанции в г. Санкт-Петербург, станция метро Кировский Завод

Проблемы являются одними из самых актуальных для объектов тепло- и электроэнергетики Российской Федерации. Были проанализированы основные свойства этих объектов, предпосылки и ход возникновения аварийных ситуаций. Особенно актуальны рассмотренные проблемы для теплоэлектростанций, использующих природное топливо – уголь. Масштабы его применения с каждым днем растут не только в России, но и во всем мире.

Заключение.

В заключение следует отметить, что нынешняя тенденция ориентирована на увеличение экономии и уменьшении определённых инвестиций в строительство новых ТЭЦ, что в конечном счете привело к повышению удельной мощности и производительности энергоблоков, который был достигнут за счет увеличения параметров пара [4] Все это способствовало осложнению работы самих производственных систем и увеличению риска крупных аварий. В таких условиях одним из путей решения описанных проблем является оптимизация решений по сборке основных корпусов с учетом фактора будущих аварий.

Библиографический список

1. Рукин, М.В. Анализ аварийных ситуаций на ТЭЦ // журнал «Системы безопасности», №2. 2016.
2. Бандель, А.Л. Анализ аварий на энергетических объектах на территории Российской Федерации / А.Л. Бандель, И.В. Иванова // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – 520 с. – С. 198-206.
3. Алехин, Г.Г. Анализ аварийных ситуаций на ТЭЦ // журнал «Молодой ученый», №7. 2018.
4. Колыванова, Л.В. Анализ аварийных ситуаций на теплоэлектростанциях // Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения» – 2018. – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/53078944.pdf> – (дата обращения 15.01.2021).

Сведения об авторах

ФИО	Зотов А.Д.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4049-7376
e-mail	zotov-ad@rambler.ru
ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru

Аннотация

Проведен анализ чрезвычайных обстоятельств на теплоэлектростанциях, а также приведены основные характеристики этих объектов, предпосылки и ход возникновения аварийных ситуаций.

Ключевые слова: тепловые электрические станции, аварии, аварийные ситуации, пожар, пожарная безопасность.

УДК 656.081

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 81.93.21

Геотермальная энергия как один из перспективных альтернативных источников энергии

Павловцев А.В., Иванова И.В.

Введение.

Среди всех мировых проблем, существующих на сегодняшний день, одно из ведущих мест занимает энергетический кризис, с которым уже столкнулось большинство топливодобывающих предприятий. Спрос на топливо продолжает падать, а хранилища по всему миру заполнены до предела. Производителям приходится вынужденно уменьшать добычу. Запасы органического топлива не вечны и в итоге закончатся. С каждым годом увеличивается объем добычи таких видов топлива как нефти и газа, что ускоряет процесс истощения ископаемого топлива.

По данным 2018 года мировых запасов нефти при данном уровне потребления хватит на 53 года. Конечно, срок в 53 года не окончательный и может меняться, но связано это с развитием технологий разработки месторождений, которые считаются нерентабельными и запасы их невелики. Все основные запасы нефти и газа уже разведаны и на них активно ведутся работы по добыче необходимого вида топлива. Поэтому рынок энергодобывающей отрасли ориентирован на разработку уже известных месторождений. В связи с этим, возникает вопрос, что делать, когда запасы угля, газа и нефти закончатся? Откуда брать энергию?

Альтернативные источники энергии – это неисчерпаемые ресурсы, которые вырабатываются естественным образом. Такая энергия еще называется регенеративной или «зеленой» [1]. Ухудшение экологии и истощение природных ресурсов заставляет задумываться о том, как получать электричество и тепло из возобновляемых источников. Хотя эффективность таких установок еще далека до идеала, люди находят все новые и новые способы модернизации способов добычи так называемой «зеленой» энергии. Никого уже не удивить новостью, что люди научились добывать энергию Солнца (солнечная энергетика), воды (гидроэнергетика) и ветра (ветряная энергетика). Но мало кто знает о геотермальной энергетике, обладающей огромным потенциалом. Первичным источником энергии здесь выступает тепло земных недр. Это естественный, возобновляемый ресурс для производства электричества. Тепло Земли по объемам неисчерпаемо, оно в миллионы раз превышает все энергетические ресурсы вместе взятые. Даже 1% энергии Земли заменяет не одну сотню электрических станций. Необходимо только правильно извлекать ее. Эксплуатация геотермальной энергии началась еще в XIX веке. Первым был опыт итальянцев, живущих в провинции Тоскана,

которые использовали теплую воду источников для отопления. С ее же помощью работали установки бурения новых скважин. Тосканская вода богата бором и при выпаривании превращалась в борную кислоту, бойлеры работали на тепле собственных вод. В начале XX века тосканцы пошли дальше и запустили электростанцию, работающую на водяном паре. Можно сказать, что для выработки энергии использовали старый принцип только на новом источнике [2].

Содержание статьи.

Целью данной исследовательской работы является анализ такой отрасли энергетики как геотермальной, принципа ее работы и схемы устройства ГеоЭС. Задачей исследования ставится оценка перспективы данной отрасли и сравнение ее с другими отраслями энергетики.

Принципиальным отличием ГеоЭС является первичный источник энергии, в качестве которого выступает тепло земных недр. Это может быть извергающаяся лава вулканов, геотермальные источники – гейзеры. Нередко нагретые природой подземные водоемы располагаются очень близко к поверхности, что облегчает методы эксплуатации. В таком случае геотермальное тепло визуально определяется невооруженным глазом. Теплоноситель, нагретый естественным образом до 30...1000 °С пригоден для отопления без дополнительной трансформации. Вода, пар высокой температуры, применяются для выработки электричества. Горячая вода под высоким давлением нагнетается в испаритель, где часть ее выпаривается, а полученный пар вращает турбину. В ряде случаев требуются дополнительные устройства и контуры для очистки геотермальной воды и пара от агрессивных соединений. Использованный пар поступает в скважину нагнетания, либо используется для отопления помещений, – в этом случае принцип тот же, что при работе ТЭЦ. Эта схема работы ГеоЭС называется «непрямой» и является наиболее распространенной. Но также используются и другие схемы, например, бинарные или прямые.

На бинарных ГеоЭС горячая термальная вода взаимодействует с другой жидкостью, выполняющей роль рабочего тела с более низкой температурой кипения. Обе жидкости пропускаются через теплообменник, где термальная вода выпаривает рабочую жидкость, пары которой вращают турбину. Эта система замкнута, что решает проблему выбросов в атмосферу. Кроме того, рабочие жидкости со сравнительно низкой температурой кипения позволяют использовать в качестве первичного источника энергии и не очень горячие термальные воды.

Также существуют ГеоЭС с прямой схемой работы – это самая простая и потому первая из освоенных схем, в которой пар, поступающий из скважины, пропускается непосредственно через турбину.

Во всех трех схемах эксплуатируется гидротермальный источник, но для получения электричества можно использовать и петротермальную энергию. Схема данных теплогенерирующих установок довольно проста. Необходимо пробурить две скважины, соединяющиеся между собой, – нагнетательную и эксплуатационную. В первую скважину закачивается вода. На глубине она нагревается, затем нагретая вода или образовавшийся в результате сильного нагрева пар по эксплуатационной скважине подается на поверхность. Далее все зависит от того, как используется петротермальная энергия – для отопления или для производства электроэнергии. Возможен замкнутый цикл с закачиванием отработанного пара и воды обратно в нагнетательную скважину либо другой способ утилизации. Недостаток такой системы очевиден: для получения достаточно высокой температуры рабочей жидкости нужно бурить скважины на большую глубину. А это серьезные затраты и риск существенных потерь тепла при движении флюида вверх. Поэтому петротермальные системы пока менее распространены по сравнению с гидротермальными, хотя потенциал петротермальной энергетики на порядки выше.

В настоящее время лидер в создании так называемых петротермальных циркуляционных систем (ПЦС) – Австралия. Кроме того, это направление геотермальной энергетики активно развивается в Швейцарии, Великобритании, Японии и других странах.

Геотермальная энергетика считается экологически чистой, что в целом справедливо. Прежде всего, в ней используется возобновляемый и практически неисчерпаемый ресурс. Геотермальная энергетика не требует больших площадей, в отличие от крупных ГЭС или ветропарков, и не загрязняет атмосферу, в отличие от углеводородной энергетики. В среднем ГеоЭС занимает 400 м² в пересчете на 1 ГВт вырабатываемой электроэнергии. Тот же показатель для угольной ТЭС, к примеру, составляет 3600 м². К экологическим преимуществам ГеоЭС относят также низкое водопотребление – 20 литров пресной воды на 1 кВт, тогда как для ТЭС и АЭС требуется около 1000 литров. Отметим, что это экологические показатели «среднестатистической» ГеоЭС.

Но недостатки все же имеются. Среди них чаще всего выделяют шум, тепловое загрязнение атмосферы и химическое – воды и почвы, а также образование твердых отходов. Главный источник химического загрязнения среды – собственно термальную воду (с высокой температурой и минерализацией), нередко содержащую большие количества токсичных соединений, в связи с чем существует проблема утилизации отработанной

воды и опасных веществ. Добыча термальной воды из водоносных пластов (как и выкачивание обычной воды) может вызывать просадку и подвижки грунта, другие деформации геологических слоев, микроземлетрясения. Вероятность таких явлений, как правило, невелика, хотя отдельные случаи зафиксированы (например, на ГеоЭС в Штауфен-им-Брайсгау в Германии). При невысокой минерализации она после охлаждения может быть сброшена в поверхностные воды. Другой путь – закачивание ее обратно в водоносный пласт через нагнетательную скважину, что предпочтительно и преимущественно применяется в настоящее время.

Отрицательные эффекты геотермальной энергетики могут прослеживаться на нескольких этапах, начиная с бурения скважин. Здесь возникают те же опасности, что и при бурении любой скважины: разрушение почвенно-растительного покрова, загрязнение грунта и грунтовых вод. На стадии эксплуатации ГеоЭС проблемы загрязнения окружающей среды сохраняются. Термальные флюиды – вода и пар – обычно содержат углекислый газ (CO_2), сульфид серы (H_2S), аммиак (NH_3), метан (CH_4), поваренную соль (NaCl), бор (В), мышьяк (As), ртуть (Hg). При выбросах во внешнюю среду они становятся источниками ее загрязнения. Кроме того, агрессивная химическая среда может вызывать коррозионные разрушения конструкций геотермальных теплоэлектростанций.

В то же время выбросы загрязняющих веществ на ГеоЭС в среднем ниже, чем на ТЭС. Например, выбросы углекислого газа на каждый киловатт-час выработанной электроэнергии составляют до 380 г на ГеоЭС, 1042 г. – на угольных ТЭС, 906 г. – на мазутных и 453 г. – на газовых ТЭС.

Следует подчеркнуть, что большая часть ГеоЭС расположена на сравнительно малонаселенных территориях и в странах третьего мира, где экологические требования бывают менее жесткими, чем в развитых странах. Кроме того, на данный момент количество ГеоЭС и их мощности сравнительно невелики. При более масштабном развитии геотермальной энергетики экологические риски могут возрасти и умножиться.

Инвестиционные затраты на строительство геотермальных систем варьируют в очень широком диапазоне – от 15 до 385 тыс. рублей на 1 кВт установленной мощности. Стоимость зависит, прежде всего, от условий залегания термальных вод, их состава, конструкции системы. Бурение на большую глубину, создание замкнутой системы с двумя скважинами, необходимость очистки воды могут многократно увеличивать стоимость. Например, инвестиции в создание петротермальной циркуляционной системы (ПЦС) оцениваются в 124...310 тыс. рублей на 1 кВт установленной мощности. Очевидное экономическое преимущество ГеоТЭС – бесплатный

энергоноситель. Для сравнения – в структуре затрат работающей ТЭС или АЭС на топливо приходится 50...80% или даже больше, в зависимости от текущих цен на энергоносители. Отсюда еще одно преимущество геотермальной системы: расходы при эксплуатации более стабильны и предсказуемы, поскольку не зависят от внешней конъюнктуры цен на энергоносители. В целом, эксплуатационные затраты ГеоТЭС оцениваются в 0,6...3,0 руб. на 1 кВт · ч произведенной мощности.

Вторая по величине после энергоносителя (и весьма существенная) статья расходов – это, как правило, заработная плата персонала станции, которая может кардинально различаться по странам и регионам. В среднем себестоимость 1 кВт · ч геотермальной энергии сопоставима с таковой для ТЭС (около 1 руб./1 кВт · ч) и в десять раз выше себестоимости выработки электроэнергии на ГЭС (5...10 коп./1 кВт · ч).

Отчасти, причина высокой себестоимости заключается в том, что, в отличие от тепловых и гидроэлектростанций, ГеоТЭС имеет сравнительно небольшую мощность. Кроме того, необходимо сравнивать системы, находящиеся в одном регионе и в сходных условиях. Так, например, на Камчатке, по оценкам экспертов, 1 кВт · ч геотермальной электроэнергии обходится в 2...3 раза дешевле электроэнергии, произведенной на местных ТЭС.

Показатели экономической эффективности работы геотермальной системы зависят, например, и от того, нужно ли утилизировать отработанную воду и какими способами это делается, возможно ли комбинированное использование ресурса. Так, химические элементы и соединения, извлеченные из термальной воды, могут дать дополнительный доход.

Геотермальная энергетика развивается несколько иначе, чем ветряная и солнечная. В настоящее время она в существенно большей степени зависит от характера самого ресурса, который резко различается по регионам, а наибольшие концентрации привязаны к узким зонам геотермических аномалий, связанных, как правило, с районами развития тектонических разломов и вулканизма. Кроме того, геотермальная энергетика менее технологически емкая по сравнению с ветряной и тем более с солнечной энергетикой: системы геотермальных станций достаточно просты [3].

Таким образом, основным плюсом геотермальной энергетики является бесплатный и неисчерпаемый теплоноситель, что играет важную роль в экономической целесообразности развития этой отрасли. Ведь для сравнения на ТЭС и АЭС затраты на энергопотребление составляют от 50 до 80% [4]. Вторым из приведенных и немаловажных плюсов является экологичность установок. Они практически не загрязняют окружающую среду и не требуют

больших площадей, как, например, при строительстве ГЭС. Если отметить недостатки, то к основным можно отнести то, что требуется бурить скважины глубиной до нескольких километров, а это серьезные затраты и риск существенных потерь тепла при движении флюида вверх. Не во всех регионах это целесообразно. Нельзя забывать и о том, что геотермальная энергия имеет прямую географическую зависимость и концентрируется в зонах с тектоническими трещинами горных массивов и сейсмической активностью.

Заключение.

В целом, учитывая повсеместное распространение геотермальных ресурсов и приемлемый уровень экологической безопасности, есть основания предполагать, что геотермальная энергетика имеет хорошие перспективы развития, особенно при нарастании угрозы дефицита традиционных энергоносителей и росте цен на них.

Перспективы у геотермальной энергетики в России есть, хотя и сравнительно отдаленные: на данный момент достаточно велик потенциал и сильны позиции традиционной энергетики. В то же время в ряде отдаленных районов Российской Федерации использование геотермальной энергии экономически выгодно и востребовано уже сейчас. Это территории с высоким геоэнергетическим потенциалом, например, Чукотка, Камчатка, Курилы – российская часть Тихоокеанского «огненного пояса Земли», горы Южной Сибири и Кавказ и одновременно удаленные, и отрезанные от централизованного энергоснабжения. Вероятно, в ближайшие десятилетия геотермальная энергетика в нашей стране будет развиваться именно в таких регионах.

Технологически производство геотермальной энергии намного проще, чем выработка ветряной и солнечной электроэнергии. Дальше это направление будет распространяться, и расти, так как имеет высокие показатели доступности и экологичности. Это притом, что альтернативные источники традиционной энергии неуклонно дорожают, рано или поздно будут исчерпаны и просто не останется иного выхода.

Библиографический список

1. Технологии вне времени. Как альтернативные источники энергии помогают получать тепло и электричество. – URL: <https://zen.yandex.ru>. – (дата обращения 18.01.2021).
2. BEZOTXODOV.RU. Плюсы и минусы геотермальной энергетики. – URL: <https://bezotxodov.ru/jekologija/geotermalnaja-jenergija>. – (дата обращения 10.11.2020).
3. Элементы большой науки. Тепло Земли – URL: <https://elementy.ru>. – (дата обращения 21.12.2020).
4. Бандель, А.Л. Энергосбережение и энергоэффективность в Российской Федерации / А.Л. Бандель, И.В. Иванова // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019. – СПб: СПбГЛТУ, 2020.– 520 с. – С. 193-198.

Сведения об авторах

ФИО Павловцев А.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8865-8699
e-mail pavlovcev00@mail.ru

ФИО Иванова И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены основные альтернативные источники энергии, в частности одна из самых перспективных отраслей «зеленой» энергетики – геотермальная. Дан анализ ее преимуществ и недостатков, а также области использования.

Ключевые слова: геотермальная энергетика, альтернативные источники энергии, регенеративная энергия, петротермальная энергетика, гидротермальная энергетика.

УДК 620.91

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.33

Биогаз как альтернативный источник энергии

Перевалов Д.Д., Иванова И.В.

Введение.

Биогаз – это газ, получаемый водородным или метановым брожением биомассы. Метановое разложение биомассы происходит под воздействием трех видов бактерий – гидролизные, кислотообразующие, метанобразующие [1]. Причиной использования альтернативных источников энергии послужило то, что с приходом индустриальной революции люди начали беспощадно добывать и сжигать ископаемое топливо, тем самым содержание углекислого газа в атмосфере сильно возросло, что привело к образованию парникового эффекта. А также с добычей невозобновляемого топлива будут расти цены на тепло и электроэнергию. И тогда встает вопрос: «Какие источники энергии будут экономически выгодны и в меньшей степени загрязнять планету?».

Содержание статьи.

Целью работы является сравнение биогаза с другими альтернативными источниками энергии; показать – насколько целесообразнее использовать именно биогаз с экологической точки зрения; выделить достоинства и недостатки использования биогаза с практической и экономической стороны.

Основываясь на теоретических данных, при сжигании 1 м³ биогаза образуется порядка 5,0...7,5 кВт/час (в зависимости от доли содержания метана) тепла. В среднем 1 м³ газа имеет теплоту сгорания 21,6...23,4 МДж/м³ [2, 3]. Так как биогаз на 2/3 состоит из метана – горючего газа, составляющего основу природного газа, его энергетическая ценность (удельная теплота сгорания) составляет 60...70% энергетической ценности природного газа, или порядка 7000 ккал на 1 м³. При этом 1 м³ биогаза эквивалентен 0,6 м³ природного газа, 0,7 л мазута, 0,4 л бензина, 3,5 кг дров [4].

Биогаз получают путем брожения органических отходов при постоянной температуре 30...50 °С и под действием метановых бактерий, живущими без доступа воздуха, в специальных установках [5]. Биогазовые установки – это комплексное сооружение переработки пищевых отходов агропромышленного комплекса, для производства тепловой и электрической энергии, рис. 1.



Рис. 1. Схема биогазовой установки

В качестве сырья для биогазовой установки используют отходы животного и растительного происхождения, а также бытовые отходы. Наиболее распространенный вид исходного сырья (биомассы) представлен в табл. 1.

Преимущества биогазовых установок:

1. сырьевая база не зависит от климатических условий;
2. биогаз является возобновляемым источником энергии;

3. снижение негативного воздействия на окружающую среду по сравнению с другими источниками для теплоты;
4. решением проблемы утилизации органических отходов. Это прямая экономия на строительстве очистительных сооружений. К тому же, такие установки существенно уменьшают обязательные санитарные зоны вокруг предприятий.

Таблица 1. Выход биогаза из органического сырья

№ п/п	Категория сырья	Выход биогаза (нм ³) из 1 тонны базового сырья
1	2	3
1	Коровий навоз	30...50
2	Свиной навоз	50...80
3	Овечий навоз	70
4	Птичий помёт	45...90
5	Силос	210...490
6	Зерно	390...490
7	Овощные отходы	330...500
8	Трава	290...490
9	Овсяная солома	300

К недостаткам биогазовых установок можно отнести:

1. размещение должно быть рядом с непосредственным источником сырья;
2. в процессе работы выделяется неприятный запах, поэтому расположение биогазовых установок необходимо предусматривать вдали от жилых объектов.

Внедряя в производство использование биогазовых установок, предприятия получают выгоду не только от реализации исходной продукции, но и от конечного продукта – биогаза. Все это в целом приводит к:

- увеличению урожая сельскохозяйственных культур с помощью биоудобрений;
- низкой стоимости производства тепловой и электрической энергии;
- улучшению качества сельскохозяйственной продукции, в частности, производство экологически чистых продуктов;
- улучшению социальных условий;
- повышению уровня жизни сельского населения;
- появлению рабочих мест;
- уменьшению миграции из сельской местности в город.

Даже предварительные, очень приближенные расчеты параметров биогазовой установки говорят о рентабельности, экономичности и экологичности ее использования. Предположим, что на ферме есть 5 коров, 15 свиней и 35 кур. По общепринятой статистике в сутки корова выделяется до 35 кг навоза с влажностью 65% и плотностью 600 кг/м³. Курица выделяет до 0,15 кг помета с влажностью 75% и плотностью 1100 кг. Влажность биомассы должна составлять около 90% и ежесуточно должно выходить 115 кг коровьего навоза, 50 кг свиного навоза и 4 кг куриного помета. Из этого следует, что для приготовления субстрата понадобится 356 л воды. Получается, что суммарная мощность электрических нагревателей составит 5,2 кВт, учитывая затраты на автоматизацию получаем 52 кВт · ч в сутки или 1560 кВт · ч в месяц. Такая биогазовая установка будет вырабатывать около 12...16 м³ биогаза в сутки, а также производить около 480 л жидких биоудобрений в сутки.

К другим популярным альтернативным источникам относят: энергию солнца, ветроэнергетика, гидроэнергия, геотермальная энергия. Все эти виды энергии объединяет то, что эти источники являются возобновляемые и не несут вред окружающей среде. В них есть ряд недостатков, которые можно разделить на подгруппы:

1. Зависящие от территориального фактора:

гидроэнергия (для преобразования воды в электричество ставят ГЭС на реках с сильным потоком, также строительство ГЭС является дорогим и достаточно сложным процессом);

геотермальная энергия (преобразовании тепла Земли в тепловую энергию и электричество в промышленных масштабах очень дорогое предприятие. Таких источников мало и эта энергия будет актуальна только локально).

2. Зависящие от погодных условий:

энергия солнца (данный вид энергии не постоянен и действует только в солнечные дни. Средний показатель плотности мощности солнечного излучения составляет 170 Вт/м², но для 1 кВт электроэнергии требуется большая площадь солнечных плит и при этом достаточно высокая стоимость используемого оборудования);

ветроэнергетика (данный вид энергии зависит от силы ветра, то есть не постоянный источник при получении энергии и в высокая стоимость оборудования).

В большей степени альтернативные источники энергии зависят от территории и от климата и разумнее развивать потенциал в тех регионах, где они преобладают. На тех территориях, где проблематично использовать энергию солнца, ветра и геотермальных источников, нужно установить биогазовые установки, использование которых открывают большие

перспективы как для предприятия путем появления дополнительных рабочих мест, выпуск продукции и т.п., так и для развития сельской местности в целом.

Заключение.

В заключении можно отметить, что развитие направления добычи и использования биогаза, благотворно повлияет на экологическую проблему, так как при этом уменьшается выброс углекислого газа, а также решает проблему утилизацию органических отходов, которые также влияет на окружающую среду. Биогаз дает большую платформу для получения дополнительного дохода.

Библиографический список

1. *Иванова, И.В.* Анализ технических решений по технологическим процессам термохимической переработке биомассы / И.В. Иванова, Ю.Е. Шеменев // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2017. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2018.– 312 с. – С. 219-232.
2. *Иванова, И.В.* Современное состояние биоэнергетики в Российской Федерации / И.В. Иванова, М.В. Андрюхин // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019.– 410 с. – С. 345-356.
3. *Иванова, И.В.* Современные методы получения энергии из биомассы / Иванова И.В., Тюляков В.Е. // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019.– 410 с. – С. 336-345.
4. *Иванова, И.В.* Перспективные исследования анаэробной переработки растительной биомассы в топливо / И.В. Иванова, В.Е. Тюляков // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020.– 520 с. – С. 206-216.
5. *Иванова, И.В.* Теплоэнергетические установки для сжигания биомассы / И.В. Иванова, Н.Д. Ходорыч // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019.– 410 с. – С. 364-372.
6. ГОСТ Р 53790-2010 Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам. – Москва: Стандартинформ, 2019. – 10 с.
7. Биогаз на СПГ // Neftegaz.ru. №10, 2019. – URL: <https://magazine.neftegaz.ru/articles/pererabotka/500234-biogaz-na-spg/>. – (дата обращения: 16.01.2021).
8. Биогаз – альтернативный источник энергии – URL: https://yropk.pf/library/statya_biogazalternativnij_istochnik_energii_123905.html. – (дата обращения: 05.11.2020).

Сведения об авторах

ФИО

Перевалов Д.Д.

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4049-7376
e-mail chat.shaman@gmail.com

ФИО Иванова И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

Аннотация

Проведено сравнение биогаза с другими источниками альтернативной энергии.

Ключевые слова: биогаз, альтернативные источники, пиролиз, газификация, синтетические топлива.

УДК 620.95

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 62.35.33

Общие вопросы водородной энергетики

Снежков В.А., Иванова И.В.

Введение.

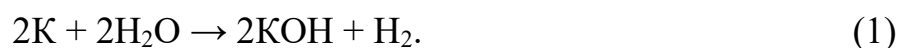
Практически всю свою жизнь человечество знает и умеет пользоваться реакцией горения в атмосфере воздуха. Эта реакция помогает нам обогревать дома, готовить пищу, освещать территорию, жить. С увеличением количества людей на планете возрастает спрос на тепло, которое вырабатывается на теплогенерирующих устройствах при сжигании углеводородов, запас которых в свою очередь ограничен [1]. Отсюда и появляется спрос на альтернативную энергетику и всевозможные способы сэкономить на использовании углеводородов [2]. Так почему бы не попробовать сжигать в котельных не метан, а, например, водород? Сложность реализации данного вопроса заключается только в том, что данное химическое соединение практически не встречается в чистом виде. Поэтому актуальным вопросом перед исследователями стоит рассмотреть возможные способы его добычи.

Содержание статьи.

Целью работы является исследование промышленных способов получения водорода, которые уже применяются на сегодняшний день.

Химические элементы, не встречающиеся в природе в свободном виде или, подобно водороду, встречающиеся в недостаточном количестве, могут быть получены из своих соединений. Водород входит в состав воды, кислот, щелочей, содержащихся в углеводородных и других органических соединениях (спирты, альдегиды и др.). Кроме того, водород присутствует в таких сложных органических веществах, как нефть, смолы, масла, воск, угли, торф и древесина. Из всех вышеуказанных соединений водород может быть получен с помощью различных физических и химических методов.

Главным источником получения водорода является наиболее распространенное и дешевое его соединение – вода. Для выделения водорода из воды, необходимо или разложить воду на ее компоненты, или использовать другое вещество, с которым кислород воды (H_2O) соединялся бы более энергично, чем с водородом, и которое заняло бы, таким образом, место последнего в молекуле воды. Такие элементы как калий, натрий, являются наиболее активными химическими элементами, которые выделяют водород при своем действии даже на холодную воду:



В свою очередь железо (Fe), цинк (Zn), магний (Mg) и другие менее активные металлы, будучи нагреты до температуры красного каления, начинают энергично взаимодействовать с водой в виде пара, вытесняя из нее водород:

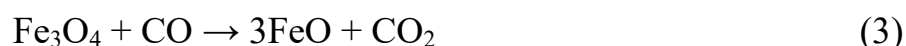


где Me – условное обозначение металла.

Наиболее известным примером технического использования вышеописанного способа является железо-паровой процесс получения водорода. В железо-паровом способе водород получают при обработке раскаленного докрасна железа (при температуре $800\text{ }^\circ\text{C}$) водяным паром. Указанный способ является очень заманчивым, так как для его осуществления требуется очень дешевое сырье – вода и железо. Промышленные изыскания этого процесса были начаты во второй половине XIX века и завершились к началу первой мировой войны созданием промышленных аппаратов. В качестве исходного металлосодержащего сырья в промышленных аппаратах используют различные соединения железа – обожженный пирит, шпатовый железняк и магнитный железняк. В настоящее время наиболее широкое применение находит шпатовый железняк (сидерит). В последнее десятилетие для получения водорода железо-паровым процессом используются печи конструкции Лошкарева и Петрова, Пинча и фирмы Бамаг. Порядок

эксплуатации и аппаратура печей всех типов являются принципиально одинаковыми [3, 4].

Установка состоит из генератора водорода и подогревателя, соединенных между собой горловиной. Оба аппарата внутри выложены шамотным кирпичом. Генератор разделен шамотным сводом на две неравные части. В одной части помещена насадка из огнеупорного кирпича, которая служит для подогрева водяного газа. В нижнюю часть загружается железная руда, содержащая, в основном, окись железа. Подогреватель заполнен насадкой из огнеупорного кирпича и служит пароперегревателем. Процесс получения водорода является периодическим. В период восстановления окись железа восстанавливается до закиси железа (FeO) или железа (Fe) газообразными восстановителями. Обычно применяют смесь восстановительных газов, отнимающих от окиси железа её кислород (окись углерода, водород, метан в различных соотношениях, в зависимости от источника получения этой смеси). Восстановление осуществляется в генераторе подогретой на его раскалённой насадке смесью газов-восстановителей при температуре 800...900 °С и протекает по следующим реакциям:



Не прореагировавший с окисью железа горючий газ сжигается в присутствии воздуха с образованием двуокиси углерода и водяного пара в подогревателе; за счёт этого происходит разогревание насадки. Отработанные газы выбрасываются в атмосферу через выхлопную трубу.

В следующий период (выработка водорода) в аппараты подается водяной пар, который проходит через подогреватель, где нагревается до 900 °С, а затем поступает в генератор, в котором разлагается на восстановленной железной руде с выделением водорода, по следующим реакциям:



Смесь водорода и неразложившегося пара охлаждается в верхней части генератора до 300...400 °С и направляется в скруббер и далее газгольдер для водорода. Производительность генератора диаметром около 3 м и высотой 9 м составляет примерно 500 м³/час водорода. Получаемый газ содержит до 98% водорода. Низкая производительность при железо-паровом процессе

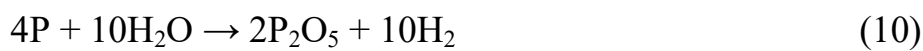
объясняется, в основном, тем, что водород получается не непрерывно, а периодически. Кроме того, получаемый водород имеет высокую стоимость, так как для восстановления окислов железа пользуются дорогой смесью газов восстановителей.

Если водяной пар пропускать не над металлом, как в железо-паровом процессе, а над раскаленным углеродом, то кислород взаимодействует с углеродом (С) с образованием окиси углерода (СО) и водорода:



Этот процесс широко используют в промышленности для получения водяного газа (содержащего, в основном, окись углерода и водород) действием пара на различные угли и кокс; он является одним из способов получения горючих газов из углей. Водяной газ употребляют как сырье при получении водорода несколькими промышленными способами (железо-паровой процесс, каталитическая конверсия водяного газа). Для более подробного ознакомления с этим важным процессом получения водорода ниже будет рассмотрено промышленное осуществление газификации твердого топлива.

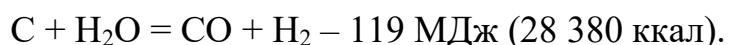
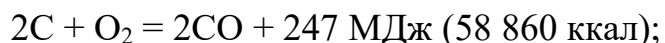
Кроме углерода, из неметаллов энергично взаимодействует с водой, с выделением водорода, фосфор (Р):



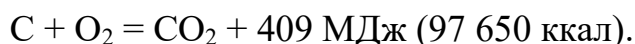
Указанный процесс не имеет промышленного значения, так как в качестве исходного продукта здесь используют дорогой фосфор.

Газификация представляет собой метод превращения органической части твёрдого топлива, содержащей углерод и водород, в газообразное топливо. *Газообразным* топливом называют газ, содержащий газообразные горючие вещества – окись углерода, водород, углеводороды (метан CH_4 и др.). При газификации углей, торфа и древесины получают газ, содержащий окись углерода и водород. Аппараты, в которых осуществляется этот процесс, называются газогенераторами [5, 6].

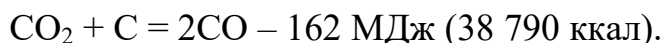
Газификация топлив, несмотря на большое разнообразие способов (непрерывные и периодические, газификация в *кипящем слое*, газификация угольной пыли и жидкого топлива в факеле, при атмосферном и высоком давлении, *подземная газификация углей* и др.), характеризуется одними и теми же химическими реакциями. При газификации твердого топлива окислению кислородом или водяным паром подвергается непосредственно углерод:



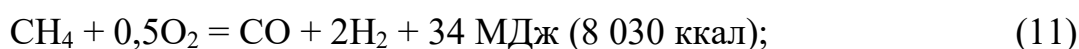
Однако весь углерод превратить в целевой продукт CO обычно не удается, часть его сгорает полностью:



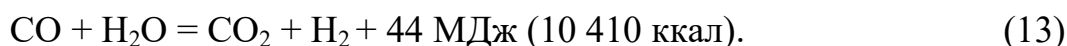
Образовавшийся при этом углекислый газ, в свою очередь, реагирует с раскаленным углеродом:



В процессе газификации жидкого топлива под действием высокой температуры происходит расщепление углеводородов до низкомолекулярных соединений или элементарных веществ, которые и подвергаются окислению, например:



Образующиеся газообразные продукты реагируют между собой:



Для получения генераторных газов применяют различные виды окислителей (дутья): воздух; смесь водяного пара с воздухом или кислородом; воздух, обогащенный кислородом, и др. Состав дутья подбирается так, чтобы тепла, выделяющегося в экзотермических реакциях, хватило для осуществления всего процесса.

Названия генераторных газов часто определяются составом дутья. Например, воздушный газ образуется при подаче в газогенератор воздуха. Состав воздушного газа, полученного из кокса (в объемных %):

- 0,6CO₂; 33,4CO; 0,9H₂; 0,5CH₄; 64,6N₂;
- теплота сгорания 4,53 МДж/м³ (1 080 ккал/м³),
- выход газа 4,65 м³/кг топлива.

Состав воздушного газа, полученного при газификации мазута под давлением 1,5 МПа (15 кгс/см²) (объемных %):

- 3,5(CO₂ + H₂S); 21CO; 17,5H₂; 58N₂;
- теплота сгорания 5 МДж/м³ (1 200 ккал/м³);
- выход газа 6,1 м³/кг топлива.

Водяной газ (синтез-газ, технологический газ) образуется при взаимодействии раскаленного топлива с водяным паром. Поскольку реакция получения водяного газа эндотермична, то для накопления необходимого для газификации количества тепла слой топлива в генераторе периодически продувают воздухом (полученный при этом воздушный газ является побочным продуктом). Состав водяного газа из каменноугольного кокса (в объемных %):

- 37CO ; 50H_2 ; $0,5\text{CH}_4$; $5,5\text{N}_2$; $6,5\text{CO}_2$; $0,3\text{H}_2\text{S}$; $0,2\text{O}_2$;
- теплота сгорания $11,5 \text{ МДж/м}^3$ ($2\,730 \text{ ккал/м}^3$),
- выход газа $1,5 \text{ м}^3/\text{кг}$ топлива.

Применяя парокислородное дутье, водяной газ можно получать непрерывно. Например, при газификации мазута под давлением 3 МПа (30 кгс/см^2) образуется газ состава (объёмных %):

- $46,8\text{CO}$; $48,8\text{H}_2$; $3,8\text{CO}_2$; $0,3\text{CH}_4$; $0,3\text{N}_2$;
- теплота сгорания $12,3 \text{ МДж/м}^3$ ($2\,940 \text{ ккал/м}^3$).

Смешанный газ (смесь воздушного и водяного газов) получают при газификации топлив на паровоздушном дутье. Например, состав смешанного газа из кускового торфа (в объёмных %):

- $8,1(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S})$; 28CO ; 15H_2 ; 3CH_4 ; $45,3\text{N}_2$; $0,4\text{C}_m\text{H}_n$; $0,2\text{O}_2$;
- теплота сгорания $6,9 \text{ МДж/м}^3$ ($1\,660 \text{ ккал/м}^3$);
- выход газа $1,38 \text{ м}^3/\text{кг}$ топлива.

Городской газ из угля получают на парокислородном дутье под давлением до $2...3 \text{ МПа}$ ($20...30 \text{ кгс/см}^2$). В этих условиях газ обогащается метаном; например, при газификации бурого угля образуется газ состава (объёмных %):

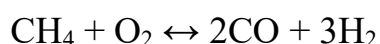
- $23,6\text{CO}$; $55,7\text{H}_2$; $14,3\text{CH}_4$; $5,5\text{N}_2$; $0,2(\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S})$; $0,7\text{C}_m\text{H}_n$;
- теплота сгорания около $16,8 \text{ МДж/м}^3$ ($4\,000 \text{ ккал/м}^3$);
- выход газа $0,97 \text{ м}^3/\text{кг}$ топлива.

Городской газ из жидкого топлива получают комбинированием газификации и пиролиза под давлением. Мощность установок по производству газа из твёрдого топлива достигает $80\,000 \text{ м}^3/\text{час}$ в одном агрегате; из жидкого топлива – до $60\,000 \text{ м}^3/\text{час}$. Преобладающая тенденция – это осуществление процесса под высоким давлением (до 10 МПа и выше) в агрегатах большой мощности. Степень использования тепла (кпд газификации топлива), заключенного в топливе, составляет $70...90\%$.

Газификация топлив получила распространение в XIX в. благодаря преимуществам газового топлива перед твердым и жидким [6]. Одновременно развивалось производство светильного газа, основанное на процессах термической деструкции топлива без доступа воздуха (сухой перегонки, коксования). При газификации топлив в газ переходит вся горючая часть топлива, а при образовании светильного газа – только часть топлива. В 1-й половине XX в. водяной газ производился с целью получения водорода для синтеза аммиака и искусственного жидкого топлива. После 2-й мировой войны 1939 – 1945 г.г. интенсивно стали разрабатываться способы газификации жидких топлив под давлением, особенно в районах, удаленных от источников природного газа [1].

Другой известный способ – паровая конверсия метана (ПКМ). Паровая конверсия углеводородных газов получила широкое распространение после второй мировой войны и в настоящее время является наиболее рентабельным способом производства водорода. Себестоимость процесса 140...350 руб. за кг водорода. В будущем возможно снижение цены до 140...175 рублей, включая доставку и хранение. Процесс отделения водорода от углеродной основы в метане протекает в трубчатых печах (химических паровых реформерах) при внешнем подводе теплоты при температурах 750...850 °С через стенку трубы на каталитических поверхностях (никель, корунд и др.).

Первый шаг реакции расщепляет метан и водяной пар на водород и монооксид углерода (синтезгаз). Вслед за этим «реакция сдвига» превращает монооксид углерода и воду в диоксид углерода и водород. Эта реакция происходит при температурах 200...250 °С. Для осуществления эндотермического процесса ПКМ сжигается около половины исходного газа. С целью экономии природного газа и снижения загрязнения окружающей среды продуктами его сгорания в России, Японии и Франции проводились и продолжаются разработки технологии паровой конверсии метана с подводом тепла от высокотемпературного гелиевого реактора (ВТГР). Территориальная модель такого комплекса состоит из ядерной части, вырабатывающей синтезгаз (смесь H₂ и CO), который транспортируется к технологической части производства, где этот газ используется для выработки конечной продукции. Помимо ПКМ существует парокислородная конверсия, где вместе с горячим паром в активную зону реактора подается кислород, это делает установку дороже на 5...10%. Основные реакции процесса те же, что и для ПКМ, плюс окисление метана кислородом:



Состав реагирующих веществ для парокислородной конверсии метана такой, что реакции в совокупности дают нулевой тепловой эффект. Существенное преимущество парокислородной конверсии по сравнению с ПКМ – передача теплоты осуществляется напрямую, а не через стенку теплообменника – используется более дешевый реактор шахтного типа вместо дорогого трубчатого, применяемого в предыдущем случае. Для получения водорода методом паровой и парокислородной каталитической конверсии на нефтеперерабатывающих заводах, наряду с природным газом, используются нефтезаводские газы, нефтяные остатки или любые фракции нефтепродуктов.

Впервые электролитическое разложение воды на кислород и водород осуществлено в 1800 г., а промышленное освоение этого метода началось с 1888 г., когда стали доступны генераторы постоянного тока. Электролиз воды

является наиболее перспективной технологией получения водорода в будущем, хотя в настоящее время из-за высокой стоимости доля этого метода в мировом производстве водорода не превышает 5%. Наиболее привлекательными особенностями электролизной технологии являются экологическая чистота (разумеется, при условии, что производство первичной энергии не сопряжено с загрязнением окружающей среды), возможность создания установок с широким диапазоном производительности (от нескольких литров до сотен м³ водорода в час), простота эксплуатации и удобство в работе, высокая чистота производимого водорода и наличие ценного побочного продукта – газообразного кислорода. Метод нашел широкое применение в ряде стран, обладающих значительными ресурсами дешевой гидроэнергетики. Наиболее крупные электрохимические комплексы находятся в Канаде, Индии, Норвегии, Египте.

Из различных методов разложения воды (электрохимический, термический, термохимический, биохимический, фотохимический и др.) технически наиболее разработан электролитический метод, который позволяет производить водород с полезным использованием затрачиваемой электрической энергии примерно 70%. При дальнейшем усовершенствовании процесса теоретически возможно увеличение этого показателя до 80%, а при высокотемпературном электролизе и до 80–90%. В настоящее время существуют три способа реализации электролизной технологии производства водорода, отличающиеся типом используемого электролита и условиями проведения электролиза.

Щелочной электролиз – процесс прохождения электрического тока через раствор электролита (20-30% раствор КОН или NaOH) от анода к катоду, вследствие чего на них соответственно образуются газы водород и кислород.

Высокотемпературный электролиз водяного пара проводится в ячейках с твердым электролитом на основе оксидов циркония, модифицированных добавками 10...15 % (мол.) оксидов некоторых элементов для увеличения его электропроводимости. К таким оксидам относятся оксиды кальция, иттрия, иттербия, селена, ванадия. Подобный электролит обладает униполярной проводимостью; ток через него переносится ионами кислорода, образующимися при диссоциации воды и выделении водорода на катоде.

Электролиз воды под давлением представляет большой технический интерес. При разложении 1 л воды образуется ~ 1242 л водорода и 621 л кислорода, что позволяет при проведении электролиза в закрытом сосуде увеличить давление примерно в 1800 раз. Проведение электролиза под давлением было предложено еще в конце XIX в., когда процесс электролиза воды начал использоваться в промышленности. Несмотря на большое число

работ и многочисленные варианты конструкций для электролиза при повышенном давлении, в течение долгого времени промышленное применение находил только процесс электролиза при атмосферном давлении. Впервые электролиз воды под давлением нашел применение в нашей стране в 30-х годах XX в., когда были построены установки с электролизёрами ЭФ для работы под избыточным давлением до $10 \cdot 10^5 \dots 15 \cdot 10^5$ Па. В 50-х годах фирма Лурги (ФРГ) выпустила электролизёры для работы под давлением до $30 \cdot 10^5 \dots 40 \cdot 10^5$ Па. В настоящее время в промышленности используются электролизёры, работающие под сравнительно невысоким давлением $(10 \dots 40) \cdot 10^5$ Па; рассматривается вопрос о создании установок для работы под более высоким давлением – $(100 \dots 200) \cdot 10^5$ Па [7].

Идея использования водорода в энергетике не нова, и в сложившейся ситуации с органическими топливами в любом случае придется искать альтернативные источники для обеспечения собственных энергетических нужд. Возможности для разработки новых возобновляемых источников энергии у российской науки есть и перед ней ставятся новые, актуальные задачи, которые в целом можно сформулировать:

- решение проблемы энергоресурсов, главным образом, невозобновляемых;
- проблему, связанную с выбросами и отходами при производстве тепловой и электрической энергии;
- проблему воздействия электрических и магнитных полей, создаваемых сетями высокого и сверхвысокого напряжения;
- проблему, касающуюся повышения коэффициента полезного действия тепло и электроэнергетики, начиная от стадии преобразования энергоресурсов в тепловую и электрическую энергию и, кончая ее потреблением;
- проблему организационной структуры национальных энергосистем, в частности в Российской Федерации.

Единственный способ справиться с этим всем комплексом направлений – это перейти нановый технический уровень, обеспечивающий существенно более высокие показатели эффективности, лучшую защиту окружающей среды и большую надежность энергетических систем.

Заключение.

В связи с наметившейся тенденцией к истощению запасов органического топлива, которое на сегодняшний день является энергоносителем для энергетики, перед современным обществом встает задача своевременно найти и научиться эффективно использовать новые источники энергии, а также энергоносители. Одним из возможных вариантов на роль такого энергоносителя претендует водород. Ожидается, что через некоторое время

водород в некоторых странах постепенно вытеснит органические энергоносители с рынка энергии или, по крайней мере, будет еще одной альтернативой в борьбе за чистое экологическое будущее. В переходный период для производства водорода будут активно использоваться методы химического преобразования органических энергоносителей и постепенный переход на прямые методы его получения путем электролиза.

Библиографический список

1. Труды VI Международного нефтяного конгресса во Франкфурте-на-Майне. – Москва: [б. и.], 1965. – 326 с.
2. *Иванова, И.В.* Рациональное ресурсо- и теплоиспользование в лесной промышленности / И.В. Иванова, А.Д. Дейс // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019. – СПб: СПбГЛТУ, 2020.– 520 с. – С. 119-127.
3. *Шишаков, Н.В.* Основы производства горючих газов / Н.В. Шишаков. – Москва-Ленинград: Госэнрегоиздат, 1948. – 479 с.
4. *Христианович, С. А.* Способ получения электроэнергии на тепловых электростанциях. Авторское свидетельство № В 1922.
5. *Лебедев, В.В.* Водород, его получение и использование / В.В. Лебедев. – Москва: Изд-во Акад. Наук СССР, 1958. – 70 с.
6. *Иванова, И.В.* Теплоэнергетические установки для сжигания биомассы / И.В. Иванова, Н.Д. Ходорыч // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.– 410 с. – С. 364-372.
7. Радченко, Р. В. Водород в энергетике: учеб. пособие / Р.В. Радченко, А.С. Мокрушин, В.В. Тюльпа. – Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2014. – 229 с.

Сведения об авторах

ФИО	Снежков В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3180-3071
e-mail	rantov.ker@mail.ru
ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены общие положения водородной энергетики, в частности физические и химические способы получения водорода, основные направления

научно-поисковых работ в этой области. Приведены различные методы и способы производства водорода и показаны перспективы развития в этой области.

Ключевые слова: водород, теплотехника, топливо, сжигание.

УДК 62.622

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.99

Усовершенствованный топливный брикет

Бирман А.Р., Угрюмов С.А., Белоногова Н.А.

Введение.

Одним из видов древесного топлива являются топливные брикеты, изготавливаемые на матричном, штемпельном, вальцовом и экструзионном прессовом оборудовании. Оптимальная влажность брикетов 6-12%, зольность – не более 5%, низшая теплота сгорания 16-23 МДж/кг (для высшего сорта) и 13-16 МДж/кг (для 1 и 2 сортов) [1].

В матричных прессах брикет приобретает форму матрицы. Плотность брикетов составляет до 1000 кг/м³. Форма брикетов наиболее часто является призматической. На штемпельных прессах в основном изготавливают цилиндрические брикеты с плотностью 600-900 кг/м³. Прессование происходит в камере с начальным участком в виде цилиндра и выходным участком в виде конуса. В вальцовых прессах уплотнение древесной массы осуществляется фасонными вальцами, углубления в которых определяют форму брикета. В матричных, штемпельных и вальцовых прессах не изготавливают брикеты со сквозным центральным отверстием, что снижает площадь контакта брикетов с горючими газами топки. В прессах экструзионного типа брикет формируют непрерывным способом за счет подачи древесной массы коническим шнеком в обогреваемый прессовый канал. Форма поперечного сечения такого брикета может быть круглой, квадратной, многоугольной и, обычно, с центральным круглым сквозным отверстием. Плотность таких брикетов 1000 – 1400 кг/м³ [2].

На практике наиболее часто применяют штемпельные и шнековые пресса. Однако, по нашему мнению, лучшими качественными характеристиками обладают брикеты, полученные экструдированием, так как в штемпельных прессах имеет место градиент температуры по объему прессуемой массы. Это приводит к появлению внутренних напряжений в брикетах непосредственно при выходе из пресса, их быстрому упругому расширению и появлению глубоких трещин.

Технологические особенности производства брикетов различных типов.

Рассмотрим два наиболее часто изготавливаемых типа брикетов, полученных методом экструдирования. Это брикеты круглого и правильно шестигранного поперечного сечения с центральным продольным сквозным цилиндрическим отверстием (рис. 1). Достоинством брикета с круглым поперечным сечением является максимально возможная площадь контактной поверхности брикета с горючими газами топки (здесь не рассматриваются брикеты сферической формы с отверстием и без него, производство которых на практике пока не осуществляется [3-6]). Недостатком таких брикетов является относительно низкий коэффициент полндревесности при их укладке в транспортный или эксплуатационный штабель. Проведенные нами расчеты показывают, что штабель с рядами параллельно уложенных цилиндрических брикетов имеет коэффициент полндревесности $K_{\text{п}}=0,75$.

Достоинством брикетов с правильным шестигранным поперечным сечением является их плотная («сотовая») укладка в транспортный или эксплуатационный штабель, когда $K_{\text{п}}=1$. Недостатком таких брикетов является снижение площади контактной поверхности с горючими газами топки по отношению к брикетам с круглым поперечным сечением.

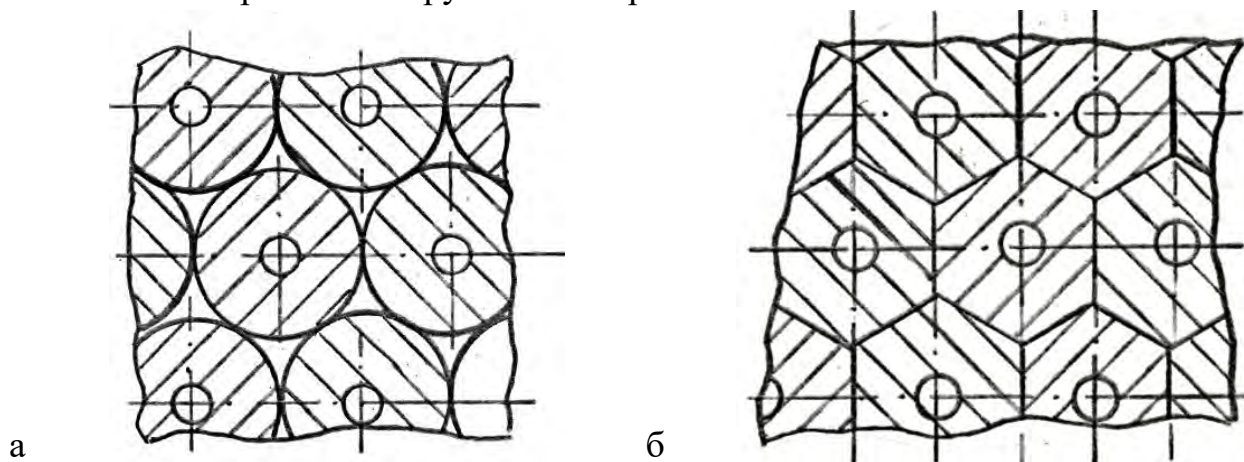


Рис. 1 – Поперечные сечения штабеля брикетов: а – круглые; б– шестигранные

Разработка новой конфигурации топливного брикета.

С целью устранения недостатков с одновременным сохранением достоинств известных топливных брикетов, изготавливаемых методом экструзии, нами предлагается новая конфигурация брикета, представленная на рисунке 2.

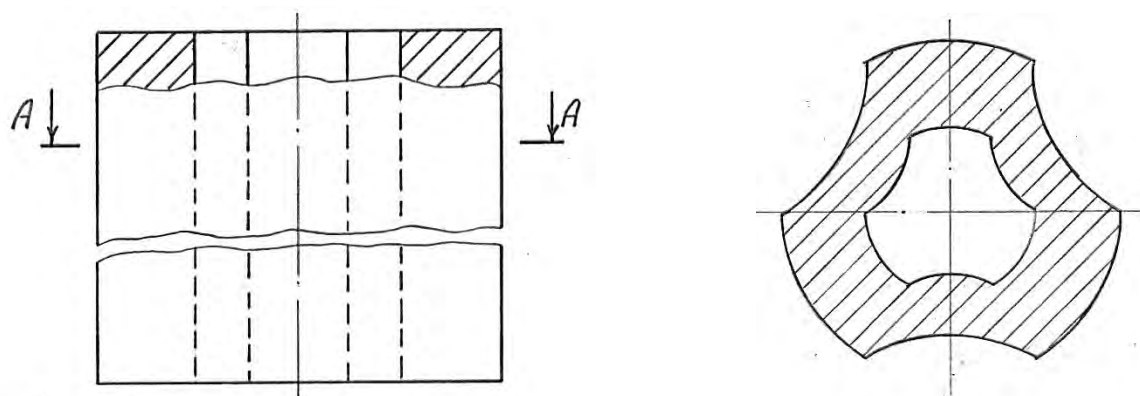


Рис. 2 – Поперечное сечение нового брикета

Наружные продольные поверхности бруска в поперечном сечении выполнены по дуге окружности с диаметром, равным диаметру окружности D , описывающей правильный шестигранник, при этом чередующиеся отрезки дуг внешнего периметра сечения выполнены выгнутыми или вогнутыми с радиусом $R = D/2$, а продольное сквозное центральное отверстие бруска имеет профиль периметра, подобный профилю наружного периметра бруска.

Выполнение наружных продольных поверхностей бруска в поперечном сечении по дуге окружности с диаметром, равным диаметру окружности, описывающей правильный шестигранник, обеспечивает сохранение наружного профиля поперечного сечения брикета в виде правильного шестиугольника, но с дугообразными сторонами. Увеличение или уменьшение диаметра дуг не позволит сохранить сечение профиля правильного шестиугольника, что приведет к образованию просветов между брикетами, уложенными в плотный штабель для транспортировки или хранения, а значит снизит и коэффициент заполнения объема транспортного средства или склада. Именно брикеты с правильным шестиугольным поперечным сечением образуют «сотовую», без просветов, конструкцию при их укладке. Кроме этого, шестигранный поперечный профиль брикетов, в отличие от квадратного или круглого профилей, препятствует относительному смещению параллельных рядов брикетов в штабеле при его наклоне или боковом воздействии на него при транспортировке.

Выполнение чередующихся отрезков дуг внешнего периметра сечения брикета выгнутыми или вогнутыми позволяет сохранить профиль поперечного сечения внешнего периметра шестигранным при суммарной длине дуг, равной длине описанной окружности шестиугольника. Очевидно, что суммарная длина прямолинейных боковых сторон поперечного внешнего профиля брикета-прототипа меньше, чем суммарная длина дугообразных сторон поперечного внешнего профиля предлагаемого брикета. Это и определяет увеличение площади внешних сторон нового брикета по отношению к площади внешних сторон известных брикетов и отвечает решению поставленной задачи –

повышение интенсивности горения за счет повышения контактной площади брикета с горячими газами топки теплоэнергетической установки.

По нашим расчетам контактная площадь нового брикета по отношению к контактной площади известных брикетов увеличивается приблизительно на 4,8%.

Выполнение продольного сквозного центрального отверстия бруска с профилем периметра, подобным профилю наружного периметра бруска не увеличивает и не уменьшает площадь поверхности отверстия. Однако выполнение указанных профилей подобными позволяет сохранить равноплотность прессованной биомассы в брикете. А объемы биомассы в известном брикете и брикете предлагаемой формы равны, так как равны площади их поперечных сечений, заполненных биомассой.

Топливный брикет предлагаемой формы возможно изготавливать на серийных шнековых прессах с прессовым каналом и центральным стержнем, сечение которых зеркально повторяют профиль поперечного сечения брикета. Производство новых брикетов не требует разработки нового технологического процесса их изготовления. Конструктивные изменения прессового канала не требуют вложения значительных инвестиций.

Вывод.

Биотопливные технологии, направленные на переработку отходов, замыкают производственный цикл предприятий и позволяют создавать малоотходные или безотходные производства. Кроме древесных отходов для изготовления брикетов с новой конфигурацией профиля их поперечного сечения могут быть использованы отходы сельского хозяйства в виде шелухи риса и семечек, измельченных початков кукурузы, камыша, соломы и пр.[7].

Библиографический список

1. *Гомонай М.В.* Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы: монография. – М.: МГУЛ, 2006. – 68 с.
2. *Передерий С.* Топливные брикеты как альтернатива другим видам твердого топлива // ЛесПромИнформ, 2010.–№6 (72).– С.162-165.
3. *Бирман А.Р., Угрюмов С.А., Хитров Е.Г., Власов Ю.Н.* Совершенствование производства круглых топливных брикетов из древесных опилок // Все материалы. Энциклопедический справочник, 2020. – №1. – С. 41-46.
4. *Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Нгуен Ван Тоан, Белоногова Н.А.* Сферические древесные брикеты // Лесн. Индустрия, 2016. – №9. – С. 46-47.
5. *Бирман А.Р., Беленький Ю. И., Кацадзе В.А., Игнатенков А.Р., Белоногова Н.А.* Топливный брикет и устройство для изготовления топливных брикетов. Пат. №193351, заяв. 11.04.2019, опуб. 25.10.2019.
6. *Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Нгуен Ван Тоан., Соколова В.А., Белоногова Н.А.* Топливные брикеты новой конфигурации // Системы. Методы. Технологии, 2017. – Вып. 1. – С.97-101.
7. *Федоренчик А.С.* [и др.]. Биотопливо из древесного сырья : монография. – М.: МГУЛ. 2010. – 384 с.

Сведения об авторах

ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Угрюмов Сергей Алексеевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6246-6269
e-mail	ugr-s@yandex.ru
ФИО	Белоногова Наталья Александровна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru

Аннотация

Предложена новая конфигурация топливного брикета на основе древесных отходов, в котором наружные продольные поверхности в поперечном сечении выполнены по дуге окружности с диаметром, равным диаметру окружности, описывающей правильный шестигранник, при этом чередующиеся отрезки дуг внешнего периметра сечения выполнены выгнутыми или вогнутыми, а продольное сквозное центральное отверстие повторяет профиль периметра брикета. Контактная площадь нового брикета по отношению к контактной площади известных брикетов увеличивается приблизительно на 4,8%. Производство новых брикетов не требует разработки нового технологического процесса их изготовления. Конструктивные изменения прессового канала не требуют вложения значительных инвестиций.

Ключевые слова: биотопливо, древесные отходы, топливный брикет, прессование, экструзия, матрица.

УДК 674.81

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.43.99

К вопросу определения центров электрических нагрузок в цехах деревообрабатывающих предприятий

Сергеевичев А.В., Алексеева Е.А., Машутин А.С.

Решение вопросов рационального размещения электрооборудования предприятия, определения места установки конденсаторов или систем автоматического управления компенсацией реактивной мощности тесно связано с анализом режима электроснабжения, основанным на применении адекватной математической модели. Используемая в данной работе методика [1] дает возможность ответить на эти вопросы и выявить зоны рассеяния центров электрических нагрузок (ЦЭН).

На рис. 1 представлена схема размещения электротехнологического оборудования в цехе приготовления стружки завода ДСП. Точками обозначены места размещения электродвигателей и прочих потребителей, цифрами – соответствующие им активные номинальные мощности. Осветительная нагрузка при равномерном световом потоке в расчет не принимается.

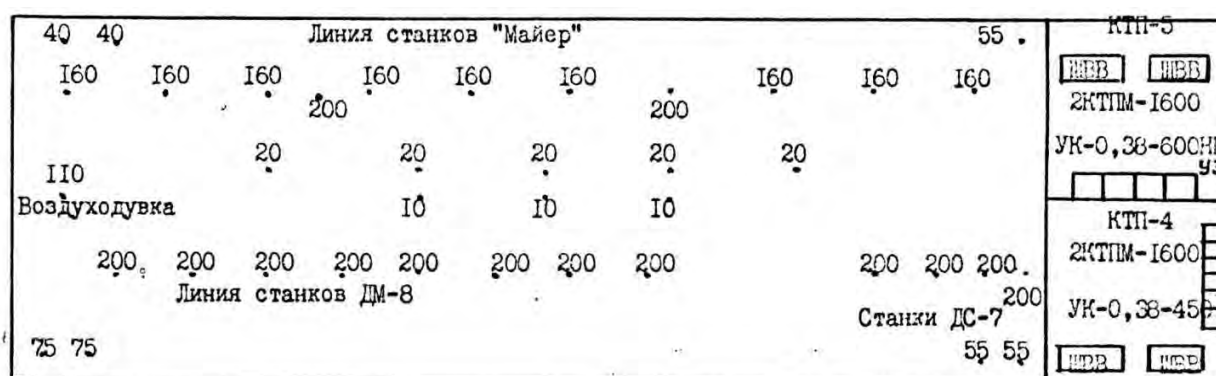


Рис. 1. Схема размещения электротехнологического оборудования в цехе приготовления стружки завода ДСП

Картограмма нагрузок цеха представляет собой размещенные по генеральному плану окружности, площади которых в определенном масштабе равны расчетным нагрузкам потребителей. Радиус окружностей r_i равен:

$$r_i = \sqrt{\frac{P_i}{\pi \cdot m}} \quad (1)$$

где P_i – расчетная мощность i -го потребителя; m – масштаб.

Площадь цеха разбивается на квадраты, а для каждого узла производится расчет функции:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i e^{-\alpha[(x-x_i)^2+(y-y_i)^2]} \quad (2)$$

где P_i – мощность каждого i -го из n приемников электроэнергии; x_i, y_i – координаты i -го приемника; x, y – текущие координаты; α – коэффициент контрастности. Величина α определяется как [2]:

$$\alpha = 10^{-K}, \quad (3)$$

Данная функция характеризует интенсивность энергопотребления в каждой точке цеха с учетом всех потребителей. Точка, характеризующая максимумом функции P , является центром энергетических нагрузок.

На рис. 2 изображена картограмма нагрузок цеха и границы зон рассеяния ЦЭН в зависимости от величины P_{max} .

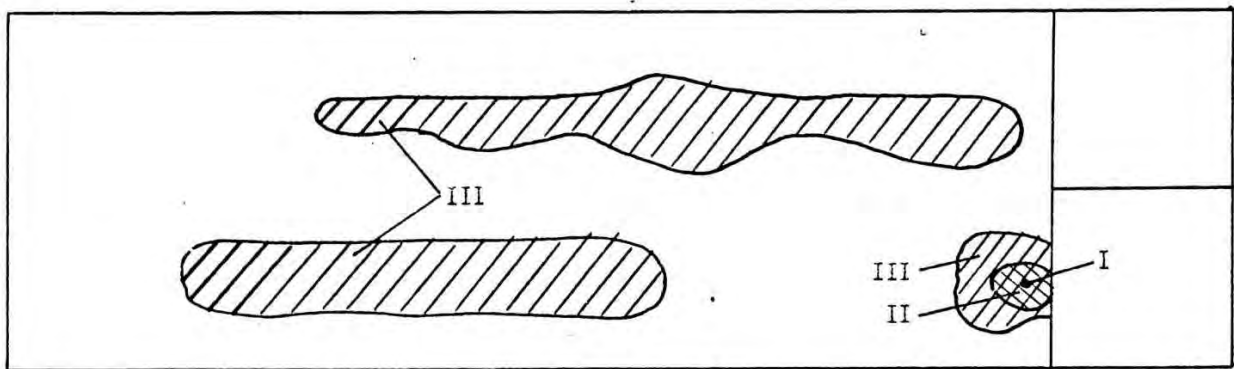


Рис. 2. Картограмма нагрузок цеха

Картограмма позволяет наглядно представить распределение нагрузок на территории цеха. На эту же схему могут быть нанесены потребители, ввод в действие которых намечен на ближайшую (или отдаленную) перспективу. Это позволит рассчитать варианты, учитывающие перспективную модернизацию производства.

Мощности и расположение потребителей системы могут быть также заданы в табличной форме.

Следует отметить, что положение ЦЭН, найденное указанным образом, не является постоянным, т.к. не учитывает изменения сменности промышленного предприятия, изменений потребляемой мощности цеха и отдельных потребителей в соответствии с графиком нагрузок и пр.

Тем не менее очевидно, что зона I, характеризующаяся наиболее высокими значениями P , является особенно сложной с точки зрения эксплуатации электрооборудования, и это может привести к уменьшению устойчивости энергосистемы в целом.

При известных значениях средневзвешенного $\cos \varphi$ технологического оборудования можно также произвести расчет центра реактивных нагрузок:

$$Q = \sum_{i=1}^n Q_i e^{-\alpha[(x-x_i)^2+(y-y_i)^2]} \quad (4)$$

Зона рассеяния центра реактивных нагрузок дает представление о наиболее рациональном месте размещения установок компенсации реактивной мощности.

Выводы.

1. Расчет центров активных и реактивных нагрузок отдельных цехов и предприятия в целом дает возможность анализа состояния энергосистемы потребителей и выработки рекомендаций по рациональному размещению трансформаторных подстанций и перспективному планированию системы электроснабжения.
2. Расчет центров реактивных нагрузок позволяет более аргументировано выбрать мероприятия по компенсации реактивной мощности.

Библиографический список

1. Федотов А.А., Каменева В.В. Основы электроснабжения промышленных предприятий. Учебник для вузов 4-е изд. Энергоатомиздат. 1984г. – 472с.
2. Энергосбережение и инновационные технологии в топливно-энергетическом комплексе: материалы научно-практической конференции. Отв. ред. А.Л. Портнягин – Тюмень. ТюмГНГУ. 2012г. – 280с.

Сведения об авторах

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Алексеева Елена Аркадьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail evgenya.ov4arova@yandex.ru

ФИО Машутин Анатолий Сергеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail anatoli.mashutin@yandex.ru

Аннотация

В статье приведен расчет центров активных и реактивных нагрузок отдельных цехов и предприятия, который в целом дает возможность анализа состояния энергосистемы потребителей и выработки рекомендаций по рациональному размещению трансформаторных подстанций и перспективному планированию системы электроснабжения.

Ключевые слова: расчет реактивных нагрузок.

УДК 621.3

Разделы рубрикатора ГРНТИ 44.29.39

Контроль температурного режима охлаждающего теплоносителя в элементах теплотехнологического оборудования

Федяев А.А., Федяева В.Н.

Введение.

Энергетическая стратегия России, разработанная и одобренная правительством РФ, Федеральная целевая программа «Энергоэффективная экономика» предусматривают в числе важных приоритетов резкое повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов на основе энергосберегающих технологий и оборудования, его совершенствовании и рациональном практическом применении [1], в том числе для тепловых и технологических электростанций [2, 3, 4].

Решение проблемы поддержания заданной (расчетной) температуры охлаждающей воды в газоохладителях и охлаждающего газа (водорода) в турбогенераторах электростанций, остается очень актуальной. Только за последние годы на российских тепловых и атомных электростанциях произошло несколько аварийных остановов турбогенераторов из-за повышения температуры охлаждающего газа.

Например, в 10-е годы на Ленинградской АЭС персоналом третьего энергоблока аварийно был остановлен пятый турбогенератор типа ТВВ-500-

2УЗ электрической мощностью 500 мВт из-за невозможности регулирования температуры охлаждающего водорода [6].

Содержание статьи.

В настоящее время все турбогенераторы с водородным охлаждением имеют встроенные в корпус генератора кожухотрубные водяные газоохладители, в трубчатку которых поступает охлаждающая вода, температура которой строго ограничена заводом-изготовителем.

Для турбогенераторов производства завода-изготовителя ОАО «Силовые машины» филиал «Электросила» (г. Санкт-Петербург) (бывший Ленинградский завод «Электросила») в инструкциях по эксплуатации указывается, что температура охлаждающей воды на входе в газоохладитель не должна быть ниже 15 °С и не выше 33 °С. Минимальный предел в 15 °С связан с температурой «точки росы» водяных паров, растворенных в охлаждающем турбогенератор водороде, при данном давлении в генераторе. Сконденсированная влага ведет к увеличению плотности водорода и потерь на трение, вызывает обильное запотевание газоохладителей, попадает в обмотку статора и ротора, приводит к коррозированию электротехнического железа генератора, к повреждению электрической изоляции, к разрушению торцевых частей обмотки ротора и в итоге к аварийному останову поврежденного генератора [7]. Но если добиться того, что влажность водорода будет доведена до нормативной величины (7,7 г/м³) и ниже, то температура «точки росы» будет составлять менее 10 °С, что дает возможность понизить температуру холодного водорода за счет снижения температуры охлаждающей воды в газоохладителях.

В некоторых источниках [5] отмечается, что повышение допустимых величин токов ротора и статора при постепенном снижении температуры охлаждающего водорода может быть произведено из расчета 1,0% на каждые 2,0 °С снижения температуры охлаждающего газа. Таким образом, снижение температуры холодного водорода на 10 – 15 °С приведет к повышению токовой нагрузки генератора на 5,0 – 7,5% и соответственно к увеличению его электрической мощности без термических последствий для обмотки и электроизоляции.

За последние годы с летним повышением температуры окружающего воздуха температура охлаждающей воды повысилась до максимально-допустимых значений: 27-30 °С. Столь высокая температура воды ведет к снижению электрической мощности генератора. В связи с этим, независимо от погодных условий необходимо управлять температурой охлаждающей воды в газоохладителях и постоянно поддерживать ее на расчетном уровне.

На российских и электростанциях СНГ управление температурой охлаждающей воды в газоохладителях турбогенераторов выполняется по

количественному методу, т.е. изменением расхода охлаждающей воды через газоохладитель за счет открытия или закрытия запорной арматуры, но это ведет к ее эрозионному износу и выходу из строя.

На рис. 1 показана действующая принципиальная схема количественного регулирования температуры охлаждающей воды в газоохладителе с помощью арматуры ВО-2 – ее открытие или прикрытие позволяет изменять расход охлаждающей воды через газоохладитель, что ведет к изменению температуры газа. Но при температуре охлаждающей воды равной 33 °С даже при полностью открытых входной (ВО-1) и выходной (ВО-2) задвижках, необходимого снижения температуры газа не наблюдается, поэтому приходится аварийно разгрузить или отключать турбогенератор от сети.

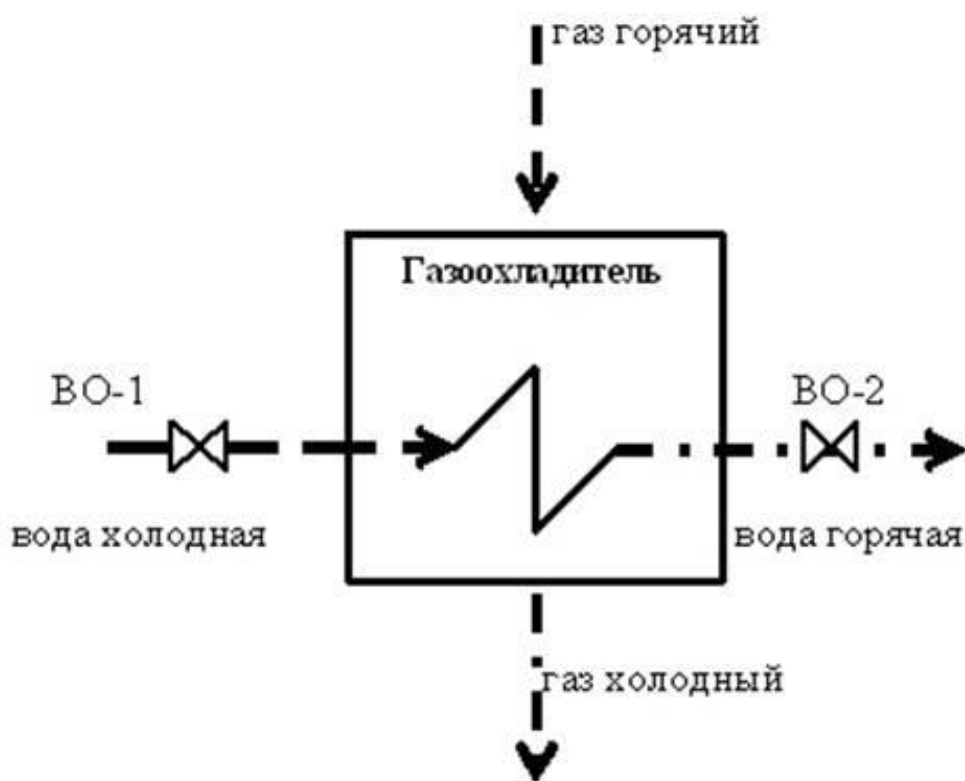


Рис. 1. Принципиальная схема действующего газоохладителя: ВО-1 – задвижка на входе холодной воды в газоохладитель; ВО-2 – задвижка на выходе горячей воды из газоохладителя.

На современных электростанциях температурный контроль водорода и охлаждающей воды выполняется с помощью штатных термометров на входе и выходе газа и воды, показания которых выведены как по месту измерения, так и на блочный щит управления турбогенератором. Но автоматического регулирования температуры воды до сих пор нет, хотя задвижки ВО-1,2 электрифицированы. В связи с этим для возможного регулирования и поддержания постоянства расчетной температуры охлаждающей воды

предлагается на подводящем трубопроводе к газоохладителям установить дополнительный теплообменник (рис. 2).

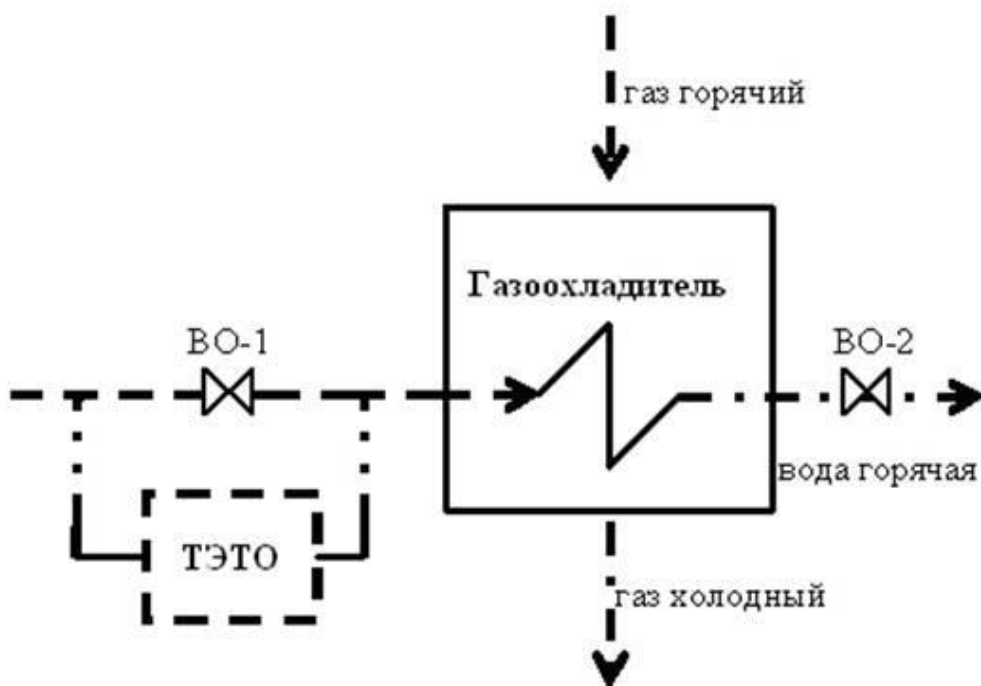


Рис. 2. Принципиальная схема установки термоэлектрического теплообменника (ТЭТО): ВО-1 – задвижка на входе холодной воды в газоохладитель; ВО-2 – задвижка на выходе горячей воды из газоохладителя.

Конечно, нет острой необходимости в изменении температуры всего потока охлаждающей воды. Достаточно охладить лишь некоторую его часть и подмешивать ее в основной поток перед газоохладителем, тем самым, создавая расчетную температуру воды.

Заключение.

Принцип работы предлагаемого теплообменника основан на применении термоэлектрического эффекта Пельтье. Как следует из расчетов хладопроизводительность термоэлектрического охладителя вполне достаточна, чтобы понизить температуру смеси основного потока воды до расчетной температуры перед газоохладителем.

Управление температурой охлаждающей воды в газоохладителях выполняется с помощью изменения количества термоблоков, включенных в работу. ТЭТО способен создавать и неограниченно долго поддерживать необходимую на выходе температуру охлаждающей воды, он не имеет хладагентов, вращающихся и других механизмов, что повышает его надежность в работе.

Библиографический список

1. Федяев А.А. Разработка и научное обоснование теплотехнических приемов и технических решений для повышения энергетической эффективности теплотехнологического оборудования. Автореферат диссерт. на соиск. уч. степ. докт. техн. наук/ Московский энергетический институт. М, 2008 г. – 39с.
2. Федяев П.А., Федяев А.А., Данилов О.Л. Численные исследования по снижению энергозатрат в технологической цепочке многокорпусная выпарная станция – содорегенерационный котлоагрегат. Промышленная энергетика – 2007. - № 1. – С. 38-42
3. Федяев А.А. Снижение внеплановых энергозатрат при управлении аэродинамическими режимами в топке котла. Проблемы энергетики. 2000. №3-4. – С.36-40.
4. Федяев А.А., Видин Ю.В., Федяева В.Н. Расчетные исследования по снижению энергетических затрат при производстве сульфатной целлюлозы. Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2008. Т.1. №2. С. 181-187.
5. Аврух В.Ю. Повышение мощности отечественных турбогенераторов с водородным охлаждением путем реконструкции. М., «Энергия». 1986
6. Циркуляры Минтопэнерго РФ Ц-3-98(э) и РАО «ЕЭС» ЭЦ-3-02(э). – Изд-во МТиЭ. - 2002.
7. Сообщение «Интерфакса» на ЛАЭС 11-го января 2005 г.

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	Vends1@mail.ru
ФИО	Федяева Валентина Николаевна
Организация	ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»
Адрес организации	665709, г. Братск, ул. Макаренко д. 40, Россия
SPIN-код	–
e-mail	vends1@mail.ru

Аннотация

Для предотвращения аварий при нарушениях в системах охлаждения предлагается выполнять контроль заданной температуры охлаждающего энергоносителя в газоохладителях и охлаждающего газа (водорода) в турбогенераторах. Как для регулирования, так и поддержания величины заданной температуры охлаждающего энергоносителя предлагается на подводящем трубопроводе к газоохладителям установить дополнительный, надежный в работе термоэлектрический теплообменный аппарат.

Ключевые слова: аварийный останов, расчетная температура охлаждающей воды, газоохладители, термоэлектрический теплообменник, турбогенераторы.

УДК 630*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 62.35.33

Повышение вибрационной надежности теплообменников

Федяев А.А., Федяева В.Н.

Введение.

Итак, в статье были рассмотрены следующие способы повышения вибрационной надежности аппаратов: установка на трубном пучке в зоне подвода пара сплошных или перфорированных пароотбойных щитов; перекрытие трубного пучка в пролетах между перегородками специальными кожухами; установка во входном патрубке специальных направляющих пластин; повышение виброненадежности трубных систем за счет конструктивных мероприятий; способ повышения виброненадежности за счет демпфирующих поясов; использование демпфирующих скреп.

В результате этого повысится время износа теплообменных аппаратов, снизится вероятность аварийного отключения котла в отопительный период. Поэтому рассмотренные в статье способы повышения вибрационной надежности аппаратов имеют большие перспективы в будущем и в совокупности с традиционными методами обеспечат большую надёжность теплообменных аппаратов.

Содержание статьи.

Все способы, направленные на повышение виброненадежности теплообменных аппаратов, можно условно разделить на две группы, к первой из которых относятся способы, реализуемые на действующих аппаратах (в условиях эксплуатации), а ко второй – способы, реализуемые только в условиях завода-изготовителя теплообменников.

Рассмотрим подробно первую группу способов повышения виброненадежности. Эту группу можно в свою очередь разбить на две подгруппы:

- повышение виброненадежности трубных систем за счет изменения траектории движения потока пара в трубном пучке;
- повышение виброненадежности за счет конструктивных мероприятий, направленных на повышение демпфирования трубных систем или их ужесточение.

К методам снижения аэродинамических сил возбуждения, прежде всего, относится установка на трубном пучке в зоне подвода пара сплошных или перфорированных пароотбойных щитов. Этот способ снижает воздействие высокоскоростного потока пара на периферийные трубки пучка, т.к. поток пара, попадая на пароотбойный щит, распределяется по периферийным зонам (зазорам) между корпусом и трубками и более равномерно омывает трубный пучок.

Главным недостатком этого способа является повышенное аэродинамическое сопротивление аппарата, а также недостаточная эффективность гашения входной скорости пара и образование застойных зон, ухудшающих тепловую эффективность аппарата. Тем не менее, этот способ широко используется в конструкциях современных аппаратов.

Другой вариант снижения динамического воздействия потока пара – перекрытие трубного пучка в пролетах между перегородками специальными кожухами (в виде внутреннего корпуса) таким образом, что пар, поступая в зазоры между внутренним корпусом и кожухом аппарата, спускается в нижнюю часть аппарата и после этого, растекаясь, попадает в трубный пучок со значительно меньшими скоростями по сравнению со скоростью во входном патрубке. Основными недостатками такого метода являются повышение металлоемкости аппарата и увеличение аэродинамического сопротивления.

Еще один вариант – установка во входном патрубке специальных направляющих пластин, изменяющих направление потока пара и улучшающих его распределение по пучку. При этом пар входит в пучок под углом к его трубкам, что уменьшает динамическое воздействие пара на трубки.

Повышение виброненадежности трубных систем за счет конструктивных мероприятий, направленных на ужесточение трубок и на повышение демпфирования, может быть организовано несколькими способами. В качестве одного из них, в частности, используется следующий способ. Поскольку максимальное «ударное» воздействие потока пара оказывается на периферийные ряды трубок пучка, то эти ряды набираются из трубок более прочного материала и с большей толщиной стенки. Например, если трубный пучок образован из латунных трубок диаметром 19×1 мм, то периферийные трубки выполняются из нержавеющей стали диаметром $19 \times 1,5$ мм или 19×2 , т.е. с толщиной стенки 1,5 или 2 мм. Такое мероприятие повышает виброненадежность периферийных трубок за счет их более высокой жесткости и гашения скорости пара на этих трубках. Однако при этом ухудшаются тепловые характеристики трубок. Иногда вместо периферийных трубок устанавливаются просто стержни, которые играют роль выравнивающей решетки.

Учитывая недостатки рассмотренных способов вибрационной защиты трубок теплообменных аппаратов, в УГТУ–УПИ был разработан и реализован на ряде аппаратов способ повышения виброненадежности за счет демпфирующих поясов. Пояса представляют собой двухрядную металлическую ленточную обвязку смежных рядов трубок (рис. 1) В тех случаях, когда требуется повысить виброненадежность собранного пучка трубок, демпфирующие пояса устанавливаются на периферийные ряды трубок, наиболее подверженных

вибрационным повреждением. При перенабивке трубного пучка пояса могут быть установлены на все трубки аппарата. Как правило, пояса устанавливались в пролетах максимальной длины, а для аппаратов с U-образными трубками также в областигиба. Достоинствами предложенного способа являются простота, незначительные трудоемкость и стоимость, малое дополнительное аэродинамическое сопротивление трубного пучка, высокая демпфирующая способность, возможность регулирования натяжения ленты при ревизиях аппарата. Практическое внедрение этого способа показало его высокую эффективность для повышения виброненадежности трубных пучков. Определение мест установки демпфирующих поясов должно производиться на основе вибрационных расчетов с целью обеспечения достаточной отстройки частот собственных колебаний от кинематической частоты возбуждения 50 Гц.

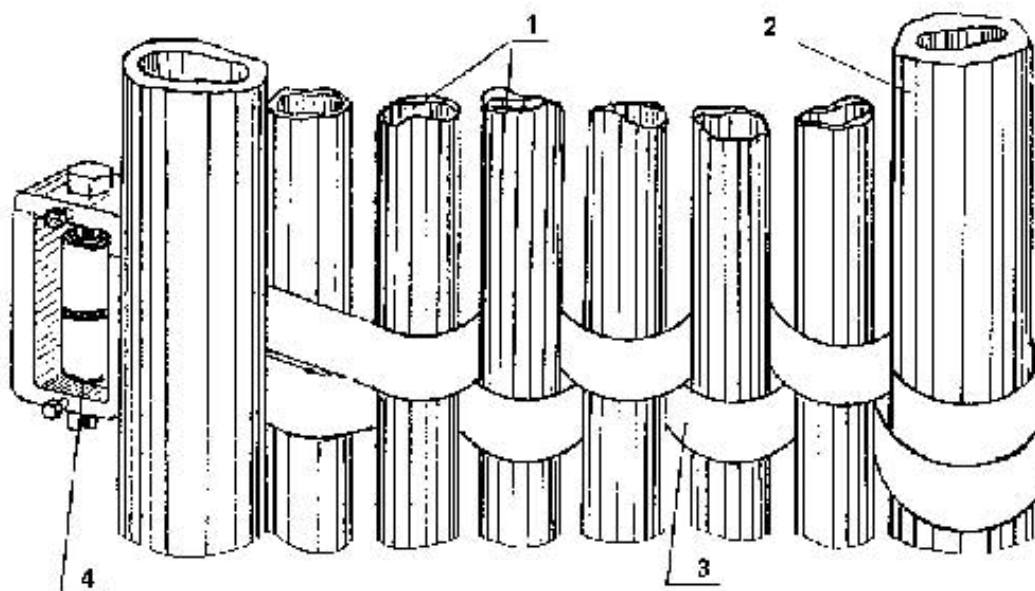


Рис. 1. Схема крепления периферийных трубок демпфирующим поясом:
1 – трубки, 2 – труба каркаса трубного пучка, 3 – лента, 4 – зажим

Другим способом повышения виброненадежности трубных систем, апробированным на практике в условиях электростанций, является использование демпфирующих скреп. Демпфирующие скрепы изготавливаются из таких же трубок, что и трубки теплообменной поверхности аппарата методом профилированной штамповки (сплющивания). Применение для скреп того же материала, что и материал теплообменных трубок, исключает возникновение в месте контакта электрохимической коррозии. На рис. 2 представлены эскиз демпфирующей скрепы и вариант схемы установки скреп на пучке в одном сечении. Скрепы изготавливаются такой длины, чтобы охватить 5 – 6 периферийных рядов трубок, наиболее подверженных

аэродинамической вибрации. Количество сечений, в которых устанавливаются скрепы, и место установки скреп в пролетах определяются на основе вибрационного расчета так же, как для демпфирующих поясов. Практическое внедрение этого способа на нескольких трубных пучках теплообменников позволило существенно повысить их виброненадежность.

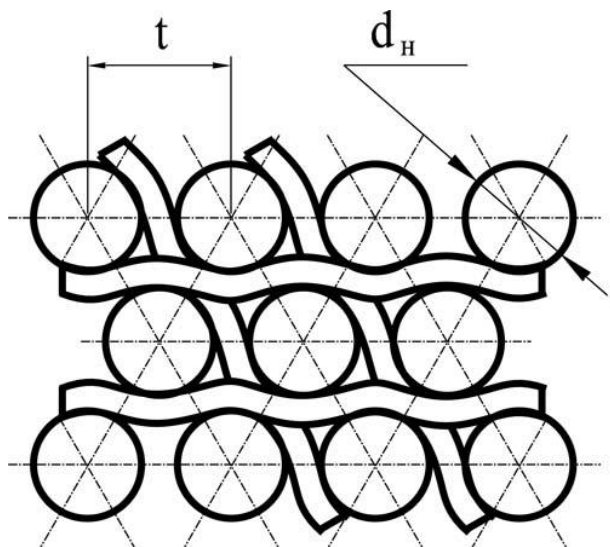


Рис. 2. Демпфирующие скрепы и схема их установки в трубном пучке:
 t – поперечный шаг, d_n – наружный диаметр трубки

Для повышения виброненадежности трубных систем в аппаратах с П-образными трубками также широко используется установка специальных скреп на ригеле П-образногогиба. Скрепы представляют собой плоские планки, которые с помощью профилированных ленточных скоб (шаг профилирования в данном случае равен шагу установки трубок в пучке) закрепляются на ригеле П-образногогиба трубок, связывая тем самым отдельные трубки в пакеты. Число скреп может быть различным; оно зависит от длины ригеля, но обычно устанавливают не более трех скреп.

Заключение.

В работе рассмотрены следующие способы повышения вибрационной надежности аппаратов: установка на трубном пучке в зоне подвода пара сплошных или перфорированных пароотбойных щитов; перекрытие трубного пучка в пролетах между перегородками специальными кожухами; установка во входном патрубке специальных направляющих пластин; повышение виброненадежности трубных систем за счет конструктивных мероприятий; способ повышения виброненадежности за счет демпфирующих поясов; использование демпфирующих скреп.

В результате этого повысится время износа теплообменных аппаратов, снизится вероятность аварийного отключения котла в отопительный период.

Поэтому рассмотренные в статье способы повышения вибрационной надежности аппаратов имеют большие перспективы в будущем и в совокупности с традиционными методами обеспечат большую надёжность теплообменных аппаратов. Анализ способов проводился с использованием источников [1-4].

Библиографический список

1. Перспективные разработки по совершенствованию теплообменных аппаратов [Электронный ресурс] // Теплообменники энергетических установок. Учебное электронное издание – Екатеринбург, УрФУ, 2015г. URL: <https://openedu.urfu.ru/files/book/%D0%93%D0%BB%D0%B0%D0%B2%D0%B0%2013.html> (Дата обращения 26.02.2021)
2. Совершенствование теплообменных аппаратов водяных систем теплоснабжения повышением энергетической эффективности. [Электронный ресурс] URL: <http://dislib.ru/energetika/18972-1-sovershenstvovanie-teploobmennih-apparatov-vodyanix-sistem-teplosnabzheniya-povisheniem-energeticheskoy-effektivnosti.php> (Дата обращения 28.02.2021)
3. Вибрация теплообменников. Способы снижения вибрации теплообменников [Электронный ресурс] URL: <https://pronpz.ru/kozuhotrubbye-teploobmenniki/vibratsiya.html> (Дата обращения 5.03.2021)
4. Повышение надежности кожухотрубчатых теплообменных аппаратов. [Электронный ресурс] URL: <https://pandia.ru/text/77/29/79183.php> (Дата обращения 7.03.2021)

Сведения об авторах

ФИО Федяев Александр Артурович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4618-5907
e-mail Vends1@mail.ru

ФИО Федяева Валентина Николаевна
Организация ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»
Адрес организации 665709, г. Братск, ул. Макаренко д. 40, Россия
SPIN-код –
e-mail vends1@mail.ru

Аннотация

Для предотвращения аварий при нарушениях в системах охлаждения предлагается выполнять контроль заданной температуры охлаждающего энергоносителя в газоохладителях и охлаждающего газа (водорода) в турбогенераторах. Как для регулирования, так и поддержания величины заданной температуры охлаждающего энергоносителя предлагается на

подводящем трубопроводе к газоохладителям установить дополнительный, надежный в работе термоэлектрический теплообменный аппарат.

Ключевые слова: аварийный останов, теплообменные аппараты, трубный пучок, виброненадежность, энергосберегающие технологии.

УДК 630*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 62.35.33

Теплопотери от рабочих поверхностей при тепловизионном обследовании

Федяев А.А., Федяев Ар.А., Федяева В.Н., Машутин А.С.

Введение.

В настоящее время применяются различные методы по определению тепловых потерь в окружающую среду элементами теплотехнологического оборудования. Данная составляющая всегда необходима при выполнении такого важного элемента энергоаудита любого предприятия как тепловой баланс [1]. Величина потерь теплоты, как правило, колеблется в пределах нескольких процентов, а в ряде случаев и существенно больше. Любое теплотехнологическое оборудование имеет свои режимы работы, различные конфигурации рабочих поверхностей нагрева и температурные диапазоны.

В связи со сложностью использования для этих целей соответствующих программных продуктов, тем более для объектов с переменными геометрическими формами, в работе выполнена экспериментальная оценка величины фактических тепловых потерь теплотехнологическими установками с помощью экспериментального обследования тепловизором.

Содержание статьи.

По специальной методике тепловизионного обследования определены потери в окружающую среду ограждающими конструкциями теплотехнологического оборудования [2]. Методика устанавливает порядок организации, проведения и обработки результатов обследований ограждающих конструкций теплотехнологического оборудования, контроля уровня теплозащиты и температурно-влажностных условий в производственных зданиях и сооружениях при проведении тепловизионного обследования в натуральных условиях с использованием контактных методов измерений.

Качественный и количественный анализ температурных полей поверхностей ограждающих конструкций основан на обработке результатов обследований. Так количественный анализ применяется для определения фактических потерь тепла и для определения численных значений теплотехнических характеристик ограждающих конструкций промышленного оборудования. Качественный анализ применяют как самостоятельно для

оперативного визуального контроля, определения зон температурных аномалий, так и совместно с количественным для анализа по температурным полям состояния ограждающих конструкций оборудования.

В качестве примера приведем фрагменты экспериментального энергоаудита элементов теплотехнологических агрегатов выпарного, котельного цехов лесопромышленного комплекса. Типовые тепловизионные изображения по распределению температур по указанным на фрагментах оборудования сечениям представлены на рисунках 1-3. (соответствующие сечения: $p1 - p2$; $p3 - p4$, $p5 - p6$).

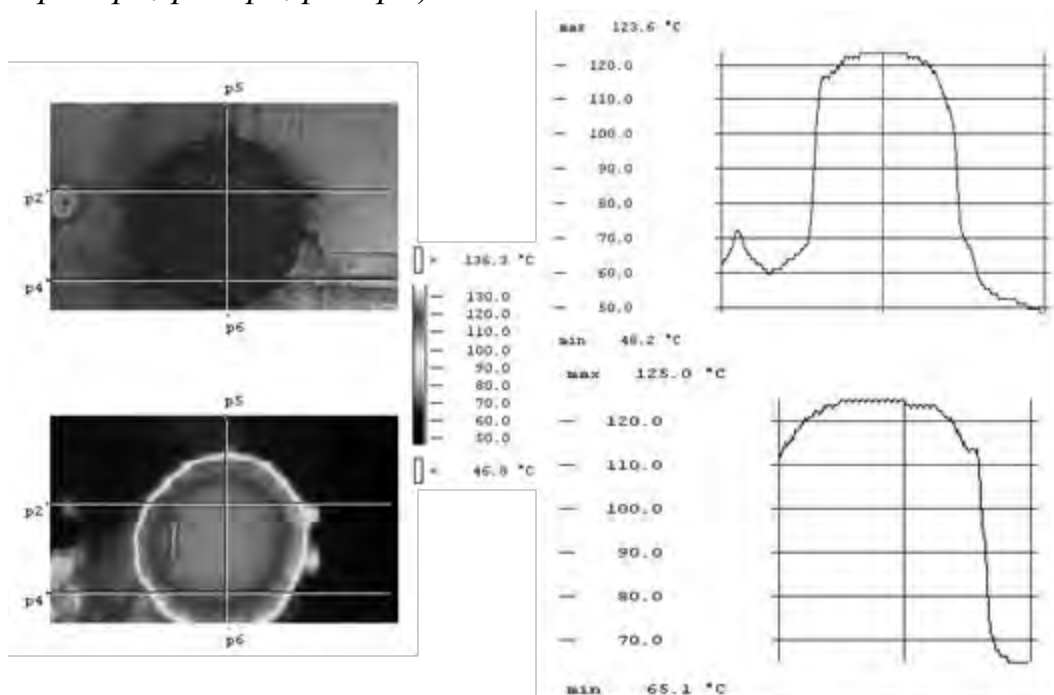


Рис. 1. Смотровой люк корпуса выпарной станции

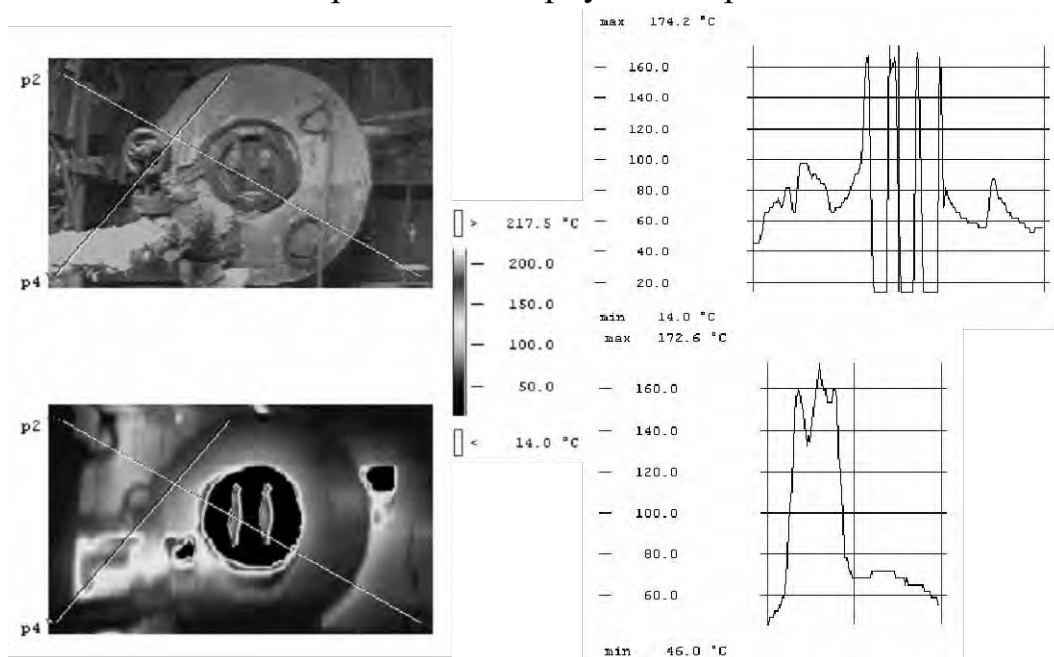


Рис. 2. Барабан сорогенерационного котлоагрегата

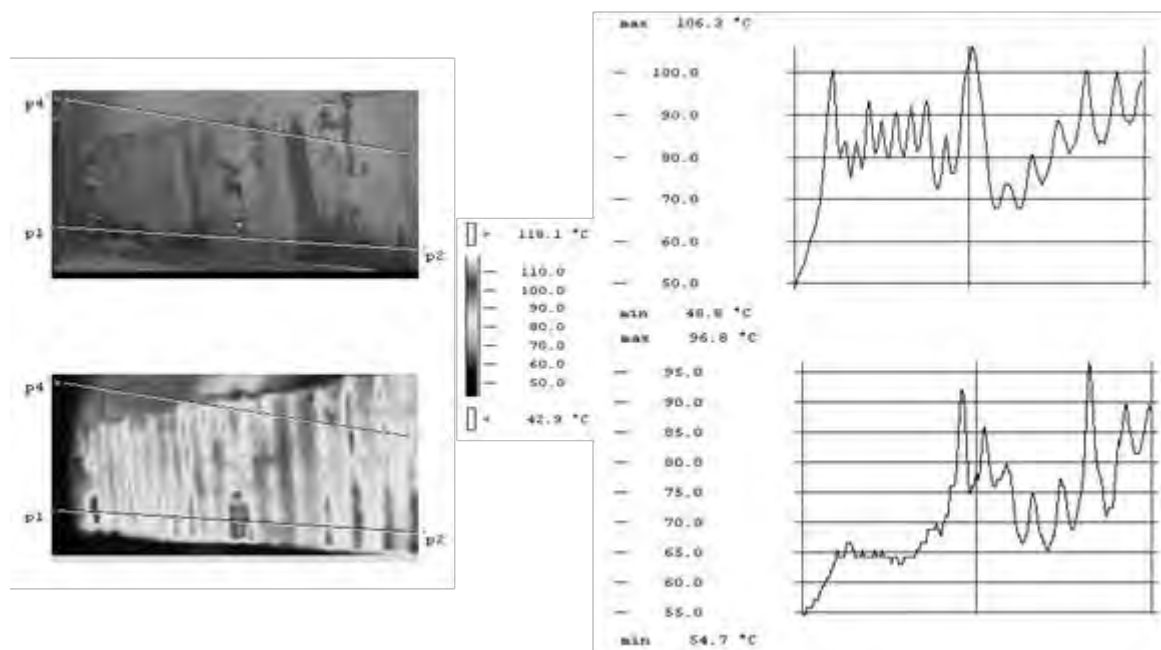


Рис. 3. Боковая поверхность содорегенерационного котлоагрегата

Также по отмеченной методике тепловизионного обследования возможно: проводить температурные бесконтактные натурные обследования поверхности ограждающей конструкции теплотехнологического оборудования и выявлять дефекты ограждающих поверхностей; по результатам проведения измерений определить величину потерь тепла ограждающими конструкциями промышленного оборудования и температурно-влажностные условия для обслуживающего персонала в производственных зданиях и сооружениях.

Заключение.

Проведенные тепловизионные обследования (с помощью тепловизора Testo 875-2) и последующие расчеты показывают, что в целом потери теплоты в окружающую среду элементами группогабаритного оборудования весьма существенны. Так для многокорпусной выпарной станции они составляют практически 7,0 %, а для содорегенерационного котлоагрегата (СРК) - 10,0 %. [3].

В целом тепловые потери в окружающую среду элементами теплотехнологического оборудования, определенные при тепловизионных обследованиях, составили порядка 1,6% от общего расхода теплоты на процессы выпаривания черных щелоков в технологической цепочке выпарная станция - содорегенерационный котлоагрегат.

Библиографический список

1. Федяев А.А., Чубинский А.Н., Федяев А.А., Федяев П.А., Танковская Н.Ю. Обоснование необходимости проведения тепловизионного обследования конструкций и сооружений из древесины. Современные проблемы переработки древесины: материалы международной научно-практической конференции. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С. 23 – 26.

2. Федяев А.А., Федяев П.А. Инструментальное обеспечение проведения энергоаудита. Естественные и инженерные науки – развитию регионов: Материалы межрегиональной научно-технической конференции. – Братск: БрГТУ, 2003. – 220 с.
3. Федяев А.А., Федяева В.Н., Федяев П.А. Повышение энергоэффективности работы основного теплотехнологического оборудования ЦБК. Механики XXI века. VI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием: сборник докладов. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2007. – 338 с.
4. ГОСТ Р 54852-2011 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.

Сведения об авторах

ФИО Федяев Александр Артурович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4618-5907
e-mail Vends1@mail.ru

ФИО Федяев Артур Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8169-9209
e-mail art_fedyayev@mail.ru

ФИО Федяева Валентина Николаевна
Организация ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»
Адрес организации 665709, г. Братск, ул. Макаренко д. 40, Россия
SPIN-код –
e-mail vends1@mail.ru

ФИО Машутин Анатолий Сергеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail anatoli.mashutin@yandex.ru

Аннотация

В работе проведены экспериментальные исследования тепловых потерь ограждающими поверхностями различных элементов теплотехнологического оборудования теплоисточника химического предприятия. Приведены примеры фрагментов экспериментального энергоаудита элементов котельного и выпарного цехов промпредприятия. Выполнена оценка величины тепловых потерь в окружающую среду для ряда установок.

Ключевые слова: тепловизионное обследование, тепловые потери, технологическое оборудование, энергоаудит, ограждающие конструкции.

УДК 630*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.33.31; 44.31.01

Методика тепловизионных измерений характеристик теплотехнологического оборудования

Федяев А.А., Федяева В.Н.

Введение.

Различные методы по определению тепловых потерь в окружающую среду элементами теплотехнологического оборудования используются в настоящее время. Величина потерь теплоты, как правило, колеблется в пределах нескольких процентов, а в ряде случаев и существенно больше. Любое теплотехнологическое оборудование имеет свои режимы работы, различные конфигурации рабочих поверхностей нагрева и температурные диапазоны. Для расчета величины коэффициентов теплоотдачи часто используют эмпирические зависимости вида $Nu = f(Gr, Pr)$ или данные, полученные при помощи программных продуктов по расчету тепло- и массообмена с двух- и трехмерной графикой. Использование таких программных продуктов (например, PHOENICS) позволяет уточнить получаемые значения коэффициентов.

В связи со сложностью использования подобных программ, тем более для объектов с переменными геометрическими формами, нередко при исследованиях выполняется экспериментальная оценка величины фактических тепловых потерь теплотехнологическими установками с помощью обследования тепловизором. Величина потерь тепловой энергии, как правило, весьма существенная, всегда необходима при выполнении такого важного элемента энергоаудита любого предприятия как тепловой баланс [1].

Содержание статьи.

Есть ряд условий для объективного проведения тепловизионных измерений: обследования проводят при изменении среднесуточных температур наружного воздуха, близком к стационарному режиму теплопередачи.

Отклонение фактического режима теплопередачи от стационарного оценивают по справочному приложению ГОСТ 26629-85 «Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций»; при измерениях поверхность обследуемой ограждающей конструкции условно разбивают на зоны, включающие в поле обзора элементы, являющиеся геометрическими реперами с известными линейными размерами; натурные тепловизионные обследования проводят по возможности при отсутствии атмосферных осадков, тумана и задымленности; расстояние до объекта измерений варьируется от 2 до 50 метров, угол визирования желателен не должен превышать +/- 20 град [4].

Определение погрешности при проведении тепловизионных измерений. Погрешность измерения температуры по абсолютно черному телу не более $\pm 2\%$ от верхнего значения шкалы или $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (паспортное значение для тепловизоров, инфракрасных сканеров и пирометров). При использовании метода сличения температурная чувствительность аппаратуры должна составлять не более $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (для пирометров) и $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (паспортное значение для тепловизоров).

Измеряемой величиной при определении теплопотерь объекта и сопротивления теплопередаче ограждающих конструкций является температура. При определении погрешности измерения температуры также рекомендуется исходить из погрешности ее измерений практически на уровне $0,5 - 2,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ при использовании тепловизора.

Важными составляющими тепловизионного обследования являются методы измерений и требования к средствам измерений. Метод измерения температурного поля поверхности зданий и сооружений основан на регистрации теплового излучения любого физического тела с температурой, отличной от температуры абсолютного нуля, с использованием тепловизионного комплекса, обеспечивающего бесконтактную регистрацию теплового излучения.

В результате оптико-механического сканирования исследуемой поверхности оборудования при использовании тепловизора на неохлаждаемый многоэлементный приемник излучения последовательно попадает излучение от каждой точки объекта в пределах поля зрения. На выходах приемника образуется видеосигнал, который после усиления, аналого-цифрового преобразования, цифрового запоминания и цифро-аналогового преобразования управляет яркостью и цветностью изображения на видеоконтрольном устройстве. Аналого-цифровое преобразование и встроенные в тепловизор абсолютно – черное тело позволяют производить измерение численного значения температурного поля. Температурное поле поверхности исследуемой конструкции отображается в условных цветах.

В состав программно-аппаратного комплекса входит: тепловизор, набор приборов для определения параметров окружающей среды и объекта контроля, компьютерную систему и пакет прикладных программ расчета выходных характеристик. Определение дефектов наружных ограждающих конструкций, определение их теплотехнических характеристик и определение тепловых потерь производится путем измерения температуры по поверхности наружной ограждающей конструкции. Также определяются параметры окружающей среды и внутреннего воздуха с последующей обработкой изображений тепловых полей с использованием программно-аппаратного комплекса.

При выполнении тепловизионных измерений проводятся ряд подготовительных операций: на основе проектной документации, или используя метод прямых измерений, определяют площадь ограждающей конструкции оборудования S (возможно косвенное определение оборудования здания по термограмме с использованием маркера известных размеров, в качестве которого может служить любой предмет с хорошим излучательным контрастом, например, металлическая метровая линейка); проводится внешний визуальный осмотр наружных ограждений, их доступность для съёмки, места установки тепловизионной камеры; перед началом испытаний температура воздуха внутри и снаружи цеха должна быть измерена с точностью $\pm 0,5$ °С; тепловизор устанавливают в выбранных точках и в соответствии с инструкцией по его эксплуатации производят съёмку поверхности ограждающих конструкций теплотехнологического оборудования.

При определении параметров микроклимата помещений измеряют температуру и относительную влажность воздуха в объеме производственного помещения в соответствии с ГОСТ 30494-96.

Также регистрация температурных полей поверхности ограждающих конструкций с помощью тепловизора должна производиться с учетом излучательной способности обследуемой поверхности. Выбор излучательной способности обследуемой поверхности выполняется в соответствии со справочным материалом или на основе экспериментальных данных (путем сравнения температур поверхностей, полученных контактным методом и тепловизионным, при вариации относительного коэффициента излучения поверхности).

Заключение.

К оформлению результатов измерений предъявляется ряд требований. Так по результатам измерений составляется протокол (отчет), включающий следующие разделы и подразделы: дата и время проведения испытаний; используемые материалы наружных поверхностей стен (оборудования) для определения коэффициента излучения поверхностей и возможности оценки

влияния нестационарного режима теплообмена; температурно-влажностный режим в помещениях производственных зданий; результаты контактных тепловых измерений ограждающих конструкций; результаты расчета тепловых потерь объекта; теплотехнический анализ полученных результатов с оценкой погрешности.

Библиографический список

1. Федяев А.А., Чубинский А.Н., Федяев А.А., Федяев П.А., Танковская Н.Ю. Обоснование необходимости проведения тепловизионного обследования конструкций и сооружений из древесины. Современные проблемы переработки древесины: материалы международной научно-практической конференции. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С. 23 – 26.
2. Федяев А.А., Федяев П.А. Инструментальное обеспечение проведения энергоаудита. Естественные и инженерные науки – развитию регионов: Материалы межрегиональной научно-технической конференции. – Братск: БрГТУ, 2003. – 220 с.
3. Федяев А.А., Федяева В.Н., Федяев П.А. Повышение энергоэффективности работы основного теплотехнологического оборудования ЦБК. Механики XXI века. VI Всероссийская научно-техническая конференция с международным участием: сборник докладов. – Братск: ГОУ ВПО «БрГУ», 2007. – 338 с.
4. ГОСТ Р 54852-2011 Здания и сооружения. Метод тепловизионного контроля качества теплоизоляции ограждающих конструкций.

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	Vends1@mail.ru
ФИО	Федяева Валентина Николаевна
Организация	ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»
Адрес организации	665709, г. Братск, ул. Макаренко д. 40, Россия
SPIN-код	–
e-mail	vends1@mail.ru

Аннотация

В работе проведен анализ методики тепловизионного обследования при определении потерь в окружающую среду элементами теплотехнологического оборудования. Отмечены условия для объективного проведения тепловизионных измерений, а также подготовительные операции и требования

к оформлению результатов измерений при экспериментальных работах. Приведены такие важные составляющие тепловизионных обследований как методы измерений, требования к средствам измерений и определение погрешностей при проведении измерений необходимых параметров.

Ключевые слова: экспериментальные измерения, тепловизор, погрешность, качественный и количественный анализ, методы.

УДК 630*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.33.31; 44.31.01

Математическое моделирование неравномерного теплообмена

Федяев А.А.

Введение.

Весьма актуальным является оценка потенциала энерго- и ресурсосбережения в низкотемпературных теплотехнологических процессах, которую можно выполнить с помощью математических моделей нестационарного теплообмена в рабочих камерах как аппаратов, так и элементах оборудования, с конвективным массоотводом при различных физических механизмах теплоподвода и т.д. Применение таких моделей позволяет путем решения нелинейных дифференциальных уравнений переноса определять нестационарные и изменяющиеся в пространстве и во времени поля переменных физических величин.

Низкотемпературные процессы – это, к примеру, процессы термовлажностной обработки пиломатериалов [1], которых ежегодно производится до 22-26 млн. кубических метров. Потери, вызванные неравномерным технологическим процессом, нерациональной организацией процесса производства доходят до 10-15% от стоимости готовой продукции, а нередко и выше.

Наибольшая часть энергозатрат приходится на процесс термовлажностной обработки продукции (до 64% и более). Величина отмеченных затрат вызвана: повышенной стоимостью энергии, затраченной для нагрева и удаления влаги из материала; списанием продукции с технологическим браком (трещинообразование, коробление); низкой эффективностью проведения самого процесса обработки.

Содержание статьи.

Повышение энергозатрат нередко связано, как показывают различные исследования, с некорректной аэродинамической обстановкой на рабочих участках в камерах и нерасчетными режимами подачи энергоносителя

заданных параметров: например, влагосодержания, скорости, температуры [2,3].

Параметры соответственно влияют на распределение физических полей влагосодержания и температуры и других параметров внутри пористого материала, путём создания температурных и влажностных градиентов.

В конечном итоге не симметричность данных полей приводит к деформации внутренних структур материала, а также к повреждению материала (трещинообразованию) за счёт появления больших сил поверхностного напряжения. Это приводит к дополнительному увеличению энергозатрат при паразитном увеличении продолжительности времени сушки, а также к росту составляющей технологического брака продукции.

Несимметричность полей влагосодержания и температуры можно эффективно устранять рациональной аэродинамической обстановкой в камере термообработки. Однако для определения возможности корректировки профиля динамического поля в сушильной установке важна соответствующая математическая обработка любого профиля, для чего требуется представить его в функциональной форме.

Форма, к примеру, аэродинамического профиля в теплотехнологической установке, как показывают опытные исследования, нередко очень сложна. Традиционные методы интерполяции в таком случае не подходят, так как они не учитывают амплитуды поведения графика на концевых участках [4], а также имеют тенденцию к увеличению амплитуд в межузловых точках.

В этом случае необходим инструмент, который способен с достаточной точностью математически описать динамические поля сложной формы, для чего и была разработана специфическая обрабатывающая программа, при реализации которой предложен в основе математической модели предложен метод «интерполяции сплайнами». Достоинствами метода «интерполяции сплайнами» при описании зависимостей сложной формы является: более корректное, по сравнению с существующими методами аппроксимации, описание функций на межузловых участках; независимость от промежутков снятия значений (для обычных методов аппроксимации они должны быть постоянными); упрощенная версия реализации на вычислительной технике и в «ручных» расчётах.

Предлагаемый метод (сплайн) заключается в формировании системы уравнений с неизвестными коэффициентами интерполяции вида:

$$\begin{cases} \varphi_2(x) = a_2 + b_2 \cdot (x - x_1) + c_2 \cdot (x - x_1)^2 + d_2 \cdot (x - x_1)^3 \\ \varphi_3(x) = a_3 + b_3 \cdot (x - x_2) + c_3 \cdot (x - x_2)^2 + d_3 \cdot (x - x_2)^3 \\ \varphi_4(x) = a_4 + b_4 \cdot (x - x_3) + c_4 \cdot (x - x_3)^2 + d_4 \cdot (x - x_3)^3 \\ \dots\dots\dots \\ \varphi_i(x) = a_i + b_i \cdot (x - x_{i-1}) + c_i \cdot (x - x_{i-1})^2 + d_i \cdot (x - x_{i-1})^3 \end{cases} \quad (1)$$

где a_i, b_i, c_i, d_i – коэффициенты сплайн интерполяции, которые, определяются при помощи решения системы уравнений, учитывающие поведение соседних сплайнов в концевой точке А для предыдущего сплайна и начальной точке В для последующего сплайна; x, x_1 – искомое значение и значение в предыдущей узловой точке, соответственно.

На рис. 1 выделен отдельный сплайн, ограниченный точками А и С.

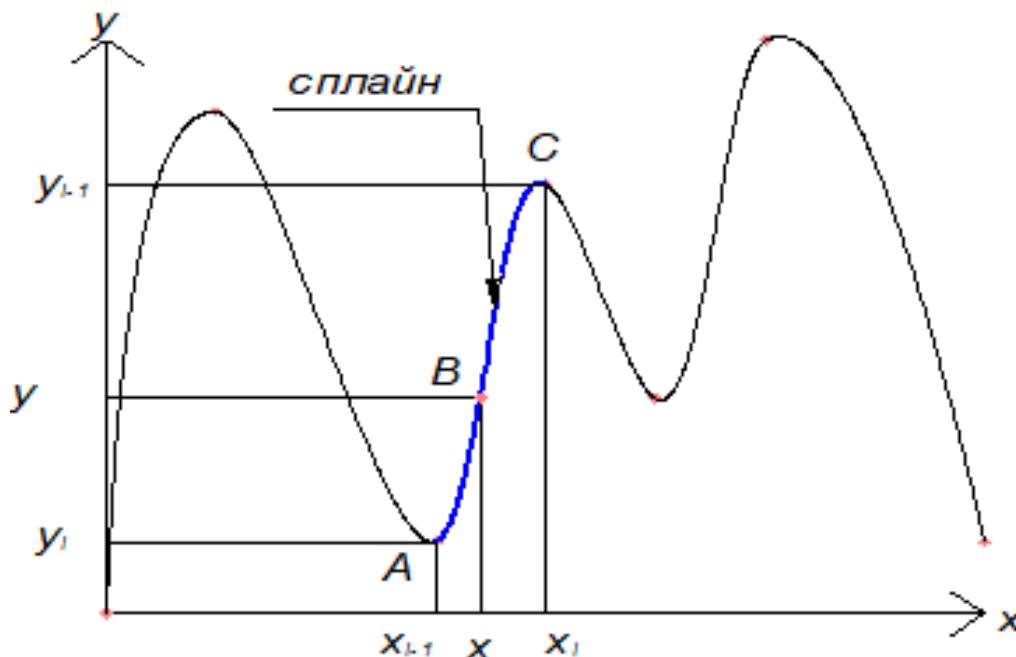


Рис. 1. Отдельный сплайн, ограниченный точками А и С

Положение точки В определяется функцией, имеющей вид:

$$y = a_2 + b_2 \cdot (x - x_1) + c_2 \cdot (x - x_1)^2 + d_2 \cdot (x - x_1)^3 \quad (2)$$

Поведение предыдущих и последующих сплайнов учитывается в граничных точках в системе уравнений и позволяет добиться плавного перехода от одного сплайна к другому, что позволяет обусловить использование всего трёх точек для описания поведения функции в межузловом пространстве, а соответственно снижает и амплитудное отклонение, неизбежное при полиномиальном интерполировании, где понадобилось бы число точек равное как минимум количеству экстремумов.

Тогда, зная коэффициенты a_i, b_i, c_i, d_i и промежуток, на котором эти коэффициенты действительны, получаем математическое выражение, описывающее поведение функции на данном промежутке.

В разработанной программе дана вероятность вывода данных коэффициентов и промежутков для них при помощи стандартного ActiveX компонента MSFlexGrid, при помощи которого также осуществляется ввод данных для расчёта. Решение системы уравнений представлено методом «прогонки», являющегося частным случаем метода Гаусса для решения системы линейных уравнений.

С целью исследований полей переменных физических величин в работе в дальнейшем применяется программа «Профиль», являющаяся инструментом для представления эмпирических зависимостей в виде кубических полиномов, способная не только с большой точностью отобразить реальный процесс, но и предоставляющая возможность его дальнейшей математической обработки.

После проведения обработки результатов данной работы по представленной программе была получена возможность анализа профилей скоростей сушильного агента в конвективных установках, что в свою очередь позволяет определить особенности сложной формы вышеупомянутых профилей физических величин и выполнить необходимую корректировку в соответствующих секторах графика.

Заключение.

Полученные при моделированные профили скорости и др. параметры, позволяют в дальнейшем осуществлять более равномерный энергоподвод к материалу, а следовательно, снизить градиент влагосодержания, что в конечном итоге приведёт к уменьшению степени деформации древесины в процессе термовлажностной термообработки. Последнее также ведет к снижению таких значимых изъянов как коробление и растрескивание пористых материалов [5].

Кроме того, при более равномерной термообработке снижается необходимость в увеличении продолжительности процесса термообработки, вызванной необходимостью дополнительной термообработки зон штабеля, находящихся в области неравномерных скоростей сушильного агента, что ведёт, в свою очередь, к пересушке кондиционного материала в областях с завышенными скоростями сушильного агента.

Производственный процесс роста продолжительности сушки можно называть «паразитным удлинением сушки», которого можно избежать выравниванием, либо корректировкой профилей скоростей сушильного агента на протяжении процесса сушки. Таким образом, для термообработки одного и того же объёма древесины потребуется меньше время, что приводит к

снижению энергозатрат [6], а значит и себестоимости готовой продукции при термовлажностной обработке.

Библиографический список

1. Серговский П.С., Расев А.И. Гидротермическая обработка и консервация древесины: Учебник для вузов. – 4 –е изд., перераб. и доп. – М.: Лесн. пром – сть, 1987. 360 с.
2. Федяев А.А. Оптимизация тепловой сушки пиломатериалов в условиях поперечной неравномерности. Труды 1-й Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)». В 4 томах. Т.2. М.: МГАУ, 2002. с. 168 – 171.
3. Видин Ю.В., Злобин В.С., Федяев А.А. Аналитический метод расчета нестационарного температурного поля при переменном коэффициенте теплопроводности. Системы. Методы. Технологии. 2019. БрГУ. № 1 (41) с. 57-60.
4. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. – Томск: МП «РАСКО», 1991. – 272 с.: ил.
5. Федяев А.А. Совершенствование газораспределительных устройств технологического оборудования. БрГУ. Системы. Методы. Технологии [Текст]: науч. журн./учредители: Федер. агентство по образованию, Брат. гос. ун-т. – Братск: БрГУ, 2009. - №2. – С.86 – 89. (146 с.).
6. Федяев А.А., Федяева В.Н. Энергосбережение при термовлажностной обработке ленточных капиллярно-пористых материалов. – 5с. Труды БрГУ. Серия: Естественные и инженерные науки. 2014. Т.1. – С.36 – 40. (406 с.).

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	Vends1@mail.ru

Аннотация

Представлено программное обеспечение для исследования математической модели испарения с поверхности, позволяющее для параметров термодинамических систем описать динамические поля сложной формы. Представлена разработанная программа, которая может быть инструментом для представления эмпирических зависимостей в виде кубических полиномов, и способная не только с большой точностью отобразить реальный нелинейный процесс, но и возможность его математической интерпретации.

Ключевые слова: математическая модель испарения с поверхности, неравномерный тепломассообмен, нестационарные поля физических величин, метод интерполяции.

УДК 533.244

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.33.31; 44.31.01

4. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Матричный метод решения задачи кинематики манипулятора лесной машины

Власов Е.Н., Андронов А.В.

Введение

Механическая система манипулятора представляет собой разомкнутую трехзвенную кинематическую цепь с закрепленным на базе лесозаготовительной машины основанием (рис. 1). Звенья манипулятора образуют кинематические пары вращения 5 класса. Пронумеруем последовательно от 1 до 3 звенья, начиная с основания (фиктивного звена), которому присвоим номер 0.

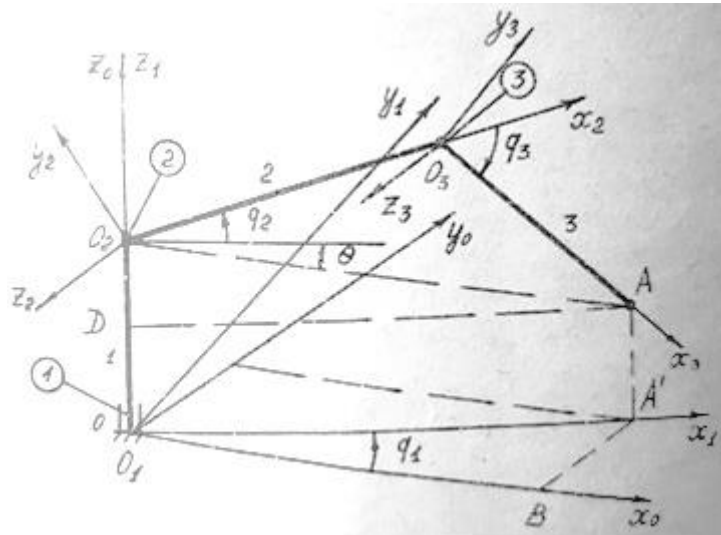


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора

Кинематической паре, образуемой i -м и $(i+1)$ -м звеном, присвоим номер i ($i=0,1,2$). С каждым звеном, начиная с основания, свяжем правые ортогональные декартовы системы координат $x_i y_i z_i$ с началом в центре $(i-1)$ -0 сочленения, направив ось z_i по оси вращения пары (рис. 1). Введем инерциальную систему координат $x_0 y_0 z_0$, плоскость $x_0 y_0$ которой совпадает с плоскостью крепления основания манипулятора. Конфигурация манипулятора однозначно определяется тремя обобщенными координатами q_1, q_2, q_3 , в качестве которых выбраны углы относительного поворота звеньев. Положительные направления отсчета q_1, q_2, q_3 указаны на рис. 1. рабочий орган (точка A) жестко связан с 3-м звеном.

Аналитическое решение задачи определения скоростей и ускорений рабочего органа при раздельном (парциальном) срабатывании степеней

подвижности манипулятора весьма трудоемкий процесс. При одновременном срабатывании степеней подвижности данная задача еще более усложняется.

Эффективным методом решения задач кинематики манипуляторов является матричный метод [1], который легко реализуется на ЭВМ. При составлении уравнений кинематики манипулятора в матричной форме будем использовать однородные координаты проективного пространства. Применение однородных координат дает возможность свести различные преобразования в трехмерном евклидовом пространстве R^3 к композиции двух преобразований – вращению и переносу, которым отвечает матрица 4×4

$$A = \begin{vmatrix} u & \vec{b} \\ 000 & 1 \end{vmatrix}$$

здесь u – ортогональная матрица 3×3 , \vec{b} – трехмерный вектор. Матрица u соответствует вращательной, а вектор \vec{b} – поступательной составляющей движения. Вращение пространства R^3 можно осуществить с помощью трех поворотов, производимых в определенной последовательности вокруг выбранных осей. Углы этих поворотов, называемые углами Эйлера, представляют три независимые величины: ψ – угол прецессии, ϑ – угол нутации, ϕ – угол чистого вращения. Матрица u выражается через них следующим образом

$$u = \begin{vmatrix} \cos \phi \cos \psi - \sin \phi \sin \psi \cos \vartheta & \cos \phi \sin \psi + \sin \phi \cos \psi \cos \vartheta & \sin \phi \sin \vartheta \\ -\sin \phi \cos \psi - \cos \phi \sin \psi \cos \vartheta & -\sin \phi \sin \psi + \cos \phi \cos \psi \cos \vartheta & \cos \phi \sin \vartheta \\ \sin \vartheta \sin \psi & -\sin \vartheta \cos \psi & \cos \vartheta \end{vmatrix}$$

Данная матрица носит название матрица направляющих косинусов.

Матрица A_i , осуществляющая преобразование системы координат i в систему координат $i-1$, имеет вид

$$A_i = \begin{vmatrix} u_i & \vec{b}_i \\ 000 & 1 \end{vmatrix}$$

здесь u_i – матрица направляющих косинусов осей i -й системы координат относительно $(i-1)$ -й системы координат; \vec{b}_i – вектор положения начала i -й системы координат, заданный в $(i-1)$ -й системе координат.

Составим матрицы перехода A_1, A_2, A_3 , соответствующие переходам от системы координат $x_1y_1z_1$ к системе координат $x_0y_0z_0$, от $x_2y_2z_2$ к $x_1y_1z_1$ и от $x_3y_3z_3$ к $x_2y_2z_2$.

Для матрицы A_1 имеем $\psi = -q_1, \vartheta = 0, \phi = 0, \vec{b}_1 = (0, 0, 0, 1)^T$;

Для матрицы A_2 – $\psi = -q_2, \vartheta = -\pi/2, \phi = 0, \vec{b}_2 = (0, 0, 1, 1)^T$;

Для матрицы A_3 – $\psi = q_3, \vartheta = 0, \phi = 0, \vec{b}_3 = (1, 0, 0, 1)^T$.

Отсюда

$$A_1 = \begin{vmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad A_2 = \begin{vmatrix} \cos q_2 & -\sin q_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ \sin q_2 & \cos q_2 & 1 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad A_3 = \begin{vmatrix} \cos q_3 & \sin q_3 & 0 & l_2 \\ -\sin q_3 & \cos q_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Матрицы обладают свойством

$$\frac{\partial A_i}{\partial q_i} = D_i A_i, \quad i=1,2,3 \quad (1)$$

где

$$D_i = \begin{vmatrix} d_{i11} & d_{i12} & d_{i13} & d_{i14} \\ d_{i21} & d_{i22} & d_{i23} & d_{i24} \\ d_{i31} & d_{i32} & d_{i33} & d_{i34} \\ d_{i41} & d_{i42} & d_{i43} & d_{i44} \end{vmatrix} \quad - \text{проектирующая матрица.}$$

Радиус-вектор некоторой фиксированной в пространстве точки в i -й системе координат манипулятора имеет вид

$$\vec{r}_i = (x_i, y_i, z_i, 1)^T,$$

где x_i, y_i, z_i – декартовы координаты точки в i -й системе координат. Пусть радиус-вектор данной точки в $(i-1)$ -й системе координат в принятой записи равен $\vec{r}_{i-1} = (x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}, 1)^T$, где $x_{i-1}, y_{i-1}, z_{i-1}$ – декартовы координаты точки в $(i-1)$ -й системе координат. С помощью матрицы A_i можно записать соотношение, характеризующее связь векторов \vec{r}_{i-1} и \vec{r}_i ,

$$\vec{r}_{i-1} = A_i \vec{r}_i. \quad (2)$$

Определим радиус-вектор рабочего органа в системе координат $x_0 y_0 z_0$. Согласно (2), имеем:

$$\vec{r}_{0A} = A_1 A_2 A_3 \vec{r}_{3A} = B_3 \vec{r}_{3A}, \quad (3)$$

где $\vec{r}_{3A} = (0, 0, l_3, 1)^T$, $B_3 = A_1 A_2 A_3$.

Соотношение (3) представляет собой форму записи векторного уравнения кинематики манипулятора, которое устанавливает зависимость между обобщенными координатами манипулятора и декартовыми координатами рабочего органа.

Введем в рассмотрение матрицы

$$B_i^j = \frac{\partial B_i}{\partial q_j}, \quad B_i = \frac{\partial B_i^{jk}}{\partial q_k}, \quad i, j = 1, 2, 3 \quad (4)$$

Из свойства (1) следует, что

$$B_i^j = \begin{cases} A_1 \dots A_{j-1} D_j A_j \dots A_i, & j \leq i \\ 0, & j > i \end{cases} \quad (5)$$

$$B_i^{jk} = \begin{cases} A_1 \dots A_{j-1} D_j A_j \dots A_{k-1} D_k A_k \dots A_i & j < k \leq i \\ A_1 \dots A_{j-1} D_j^2 A_j \dots A_i & j = k \leq i \\ 0 & j > i, k > i. \end{cases} \quad (6)$$

Здесь матрицы D_j и D_k записаны в виде формулы (1).

Определим в инерциальной (опорной) системе координат следующие величины: \vec{V}_{0A} – скорость рабочего органа; \vec{W}_{0A} – ускорение рабочего органа.

Используя соотношение (3), получим

$$\vec{V}_{0A} = \frac{d\vec{r}_{0A}}{dt} = \sum_{j=1}^3 B_3^j q_j \vec{r}_{3A} = \sum_{j=1}^3 (B_3^j \vec{r}_{3A}) \dot{q}_j, \quad (7)$$

$$\vec{W}_{0A} = \frac{d\vec{V}_{0A}}{dt} = \sum_{j=1}^3 (B_3^j \vec{r}_{3A}) \ddot{q}_j + \sum_{j,k=1}^3 (B_3^{jk} \vec{r}_{3A}) \dot{q}_j \dot{q}_k, \quad (8)$$

Учитывая равенства (5), (6) и свойства дистрибутивности умножения матриц, запишем выражения (7) и (8) в развернутом виде

$$\vec{V}_{0A} = (DA_1A_2A_3\dot{q}_1 + A_1DA_2A_3\dot{q}_2 + A_1A_2DA_3\dot{q}_3)\vec{r}_{3A};$$

$$\vec{W}_{0A} = (D_1A_1A_2A_3\ddot{q}_1 + A_1D_2A_2A_3\ddot{q}_2 + A_1A_2D_3A_3\ddot{q}_3 + D_1^2A_1A_2A_3\dot{q}_1^2 + \\ + D_1A_1D_2A_2A_3\dot{q}_1\dot{q}_2 + D_1A_1A_2D_3A_3\dot{q}_1\dot{q}_3 + D_1A_1D_2A_2A_3\dot{q}_2\dot{q}_1 + A_1D_2^2A_2A_3\dot{q}_2^2 + \\ + A_1D_2A_2D_3A_3\dot{q}_2\dot{q}_3 + D_1A_1A_2D_3A_3\dot{q}_3\dot{q}_1 + A_1D_2A_2D_3A_3\dot{q}_3\dot{q}_2 + A_1A_2D_3^2A_3\dot{q}_3^2)\vec{r}_{3A};$$

Библиографический список

1. Бурдаков С.Ф. Элементы теории роботов. Механика и управление. – Л.:ЛПИ им. М.И.Калинина, 1985. – 88с.

Сведения об авторах

ФИО Власов Е.Н
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

ФИО Андронов А.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail andronovalexandr@gmail.com

Аннотация

Рассмотрен матричный метод решения задачи кинематики манипулятора лесной машины, используя однородные координаты. Применение однородных

координат дает возможность свести различные преобразования в трехмерном евклидовом пространстве R^3 к композиции двух преобразований – вращению и переносу.

Ключевые слова: однородные координаты, углы Эйлера, обобщенные координаты, матрицы перехода.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Определение режимов работы стрелы и рукояти манипулятора лесной машины, при которых ускорение захватного устройства будет максимальным

Власов Е.Н., Вохмянин Н.А.

Введение

Для прочностных расчетов манипулятора необходимо знать максимальную силу инерции. Механическая система манипулятора представляет собой разомкнутую трехзвенную кинематическую цепь с закрепленным на базе лесозаготовительной машины основанием (рис. 1). Звенья манипулятора образуют кинематические пары вращения 5 класса. Пронумеруем последовательно от 1 до 3 звенья, начиная с основания (фиктивного звена), которому присвоим номер 0.

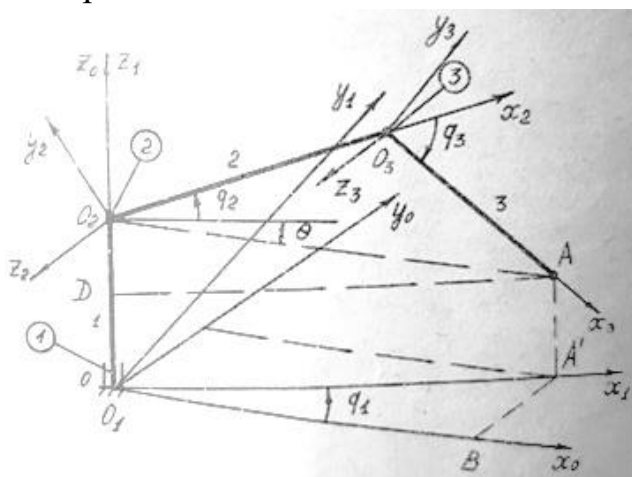


Рис. 1. Кинематическая схема манипулятора

Введем инерциальную систему координат $x_0y_0z_0$, плоскость x_0y_0 которой совпадает с плоскостью крепления основания манипулятора. Конфигурация манипулятора однозначно определяется тремя обобщенными координатами q_1, q_2, q_3 , в качестве которых выбраны углы относительного поворота звеньев. Положительные направления отсчета q_1, q_2, q_3 указаны на рис. 1. Рабочий орган (точка A) жестко связан с рукоятью манипулятора.

Рассмотрим одновременную работу приводов стрелы и рукояти манипулятора лесной машины. Получили проекции полного ускорения [1] точки А (захватного устройства) на оси $x_1, z_1(z_0)$. Они соответственно равны

$$W_{x1} = -[(\ddot{q}_2 + \ddot{q}_3)l_p \sin q_3 + (\dot{q}_2 + \dot{q}_3)^2 l_p \cos q_3 + \dot{q}_2^2 l_c]$$

$$W_{z1} = [-(\ddot{q}_2 + \ddot{q}_3)l_p \cos q_3 + (\dot{q}_2 + \dot{q}_3)^2 l_p \sin q_3 - \ddot{q}_2 l_c]$$

Квадрат полного ускорения точки А будет равен

$$W^2 = l_c^2 \left\{ \begin{aligned} & \ddot{q}_2^2 + \dot{q}_2^4 + (\ddot{q}_2 + \ddot{q}_3)^2 n^2 + (\dot{q}_2 + \dot{q}_3)^4 n^2 + \\ & + 2n[\dot{q}_2^2(\ddot{q}_2 + \ddot{q}_3) - \ddot{q}_2(\dot{q}_2 + \dot{q}_3)^2] \sin q_3 + \\ & + 2n[\ddot{q}_2(\ddot{q}_2 + \ddot{q}_3) + \dot{q}_2^2(\dot{q}_2 + \dot{q}_3)^2] \cos q_3 \end{aligned} \right\}$$

Здесь $n = l_p/l_c$

Найдем соотношение движений стрелы и рукояти, при которых W^2 будет максимальным.

1). Рассмотрим поворот стрелы и рукояти в одном направлении без ускорения, т.е. $\dot{q}_2 = \omega; \dot{q}_3 = \mu\omega; \ddot{q}_2 = \ddot{q}_3 = 0$. Из $\frac{\partial W^2}{\partial q_3} = 0$, находим максимальное значение ускорения W^2 , оно равно $W^2 = l_c^2 \omega^4 [1 + (1 + \mu)^2 n]^2$, при этом $q_3 = 0$.

2). Рассмотрим поворот стрелы и рукояти в одном направлении с ускорением, т.е. $\dot{q}_2 = \omega; \dot{q}_3 = \mu\omega; \ddot{q}_2 = \varepsilon, \ddot{q}_3 = \mu\varepsilon$. Введем также параметр $\alpha = \varepsilon t^2$, где t – время разгона (торможения).

Из $\frac{\partial W^2}{\partial q_3} = 0$, находим максимальное значение ускорения W^2 , оно равно

$$W^2 = \varepsilon^2 l_c^2 \left[\sqrt{1 + \alpha^2} + (1 + \mu)n \sqrt{1 + (1 + \mu)^2 \alpha^2} \right]^2, \quad \text{при этом} \quad tg q_3 = -\frac{\alpha\mu}{1 + \alpha^2(1 + \mu)}.$$

3). Рассмотрим поворот стрелы и рукояти в разном направлении с ускорениями, т.е. $\dot{q}_2 = \omega; \dot{q}_3 = -\mu\omega; \ddot{q}_2 = \varepsilon, \ddot{q}_3 = \mu\varepsilon$.

Здесь максимум ускорения достигается при $tg q_3 = \frac{\alpha\mu(3-\mu)}{1 + \mu + \alpha^2(1-\mu)^2}$, а величина максимума квадрата ускорения точки А (захватного устройства)

$$\text{равна } W^2 = \varepsilon^2 l_c^2 \left\{ \begin{aligned} & \alpha^2 [1 + (1 - \mu)^4 n^2] + 1 + (1 + \mu)^2 n^2 + \\ & + 2n \sqrt{[\alpha^2 (1 - \mu)^2 + 1 + \mu]^2 + \alpha^2 \mu^2 (3 - \mu)^2} \end{aligned} \right\}$$

4). Рассмотрим поворот стрелы и рукояти в разном направлении с ускорениями, т.е. $\dot{q}_2 = \omega; \dot{q}_3 = -\mu\omega; \ddot{q}_2 = \varepsilon, \ddot{q}_3 = -\mu\varepsilon$.

Здесь максимум ускорения достигается при $tg q_3 = \frac{\alpha\mu}{1 + \alpha^2(1-\mu)}$, а величина максимума квадрата ускорения точки А (захватного устройства) равна $W^2 = \varepsilon^2 l_c^2 \left[\sqrt{1 + \alpha^2} + (1 - \mu)n \sqrt{1 + (1 - \mu)^2 \alpha^2} \right]^2$.

5). Рассмотрим поворот стрелы и рукояти в одном направлении с ускорениями, т.е. $\dot{q}_2 = \omega$; $\dot{q}_3 = \mu\omega$; $\ddot{q}_2 = \varepsilon$, $\ddot{q}_3 = -\mu\varepsilon$.

Здесь максимум ускорения достигается при $tgq_3 = \frac{\alpha\mu(3+\mu)}{1-\mu+\alpha^2(1+\mu)^2}$, а величина максимума квадрата ускорения точки А(захватного устройства) равна

$$W^2 = \varepsilon^2 l_c^2 \left\{ \alpha^2 [1 + (1 + \mu)^4 n^2] + 1 + (1 - \mu)^2 n^2 + \right. \\ \left. + 2n \sqrt{[\alpha^2 (1 + \mu)^2 + 1 - \mu]^2 + \alpha^2 \mu^2 (3 + \mu)^2} \right\}.$$

Сравнивая полученные результаты можно увидеть, что наибольшее значение квадрата полного ускорения достигается во втором случае, когда стрела и рукоять поворачивают в одном направлении с ускорениями $\ddot{q}_2 = \varepsilon$, $\ddot{q}_3 = \mu\varepsilon$.

Библиографический список

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики: Учеб. для вузов. – М.: Высш. шк., 2010. – 416 с.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Вохмянин Н.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	7520910@gmail.com

Аннотация

Рассмотрен кинематический анализ манипулятора лесной машины. Определены значения максимальных ускорений захватного устройства при различных сочетаниях движений стрелы и рукояти манипулятора лесной машины. Полученные выражения могут быть использованы на этапах проектирования манипулятора.

Ключевые слова: манипулятор, стрела, рукоять, проекции ускорения, квадрат максимального ускорения.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Анализ эффективности МТА с различными коробками перемен передач

Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.

Введение

Функционирование машинно-тракторного агрегата (МТА) в установившемся стационарном режиме движения описывается системой дифференциальных уравнений колебания подрессоренной массы трактора в продольно-вертикальной плоскости, решением которых были получены амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) и передаточными функциями, полученными аналитической аппроксимацией экспериментальных АЧХ и фазо-частотных (ФЧХ) характеристик частоты вращения двигателя по возмущающему и управляющему воздействиям. На основании таких моделей и критериальных функций появляется возможность на стадии проектирования и доводки перспективного МТА выбрать необходимое и достаточное соотношение массы трактора и мощности привода (двигателя) с передаточным рядом трансмиссии, обеспечивающими заданную производительность при минимально возможных энергозатратах.

Были определены АЧХ касательной силы тяги при движении МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 на вырубке с количеством пней до 600 шт/га с штатной 5-ти ступенчатой КПП и 5-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения касательной силы тяги ($\Delta F_0 = 12,98$ кН) по передачам. АЧХ касательной силы тяги $F_T(\omega)$, как показали расчеты, имеют три экстремума. Первый экстремум соответствует собственной резонансной частоте колебаний частоты вращения двигателя с приведенной к коленчатому валу массой МТА. Второй и третий экстремумы соответствуют собственным частотам колебаний подрессоренной массы МТА в продольно-вертикальной плоскости, величина которых зависит от жесткости подвеса.

В транспортном режиме функция $F_T(\omega)$ МТА с штатной КПП имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,3; 8,9; 18,7$ с⁻¹, динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 11,42; 32,33; 62,59 кН;
- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 8,9; 18,7$ с⁻¹, динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 16,70; 15,90; 28,50 кН.

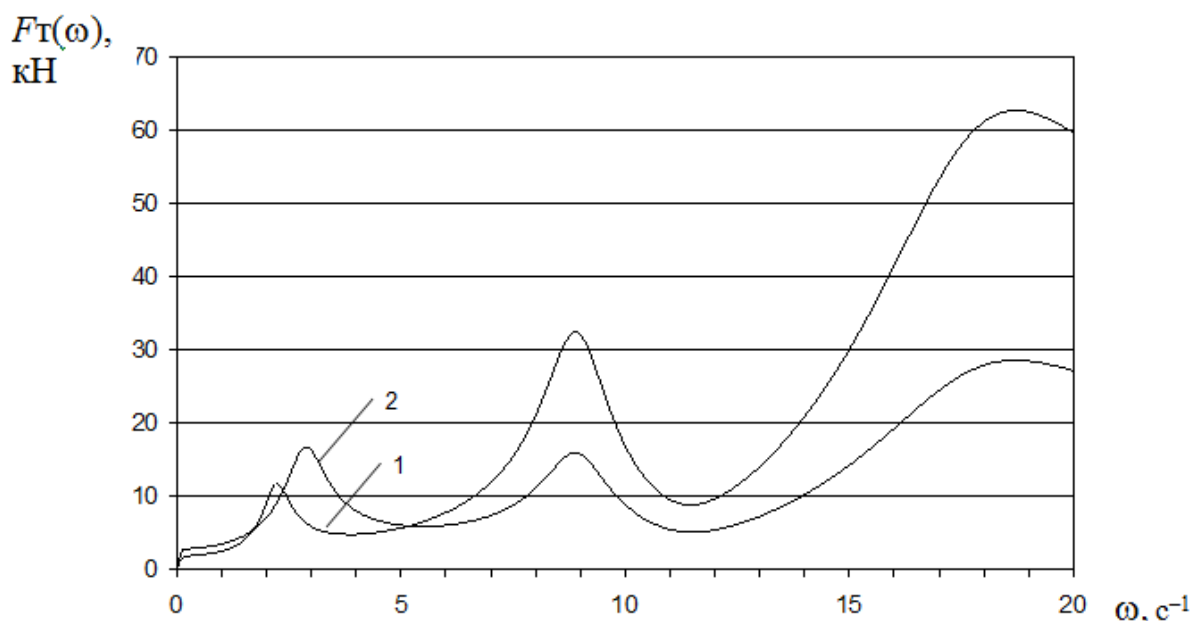


Рис. 1. АЧХ касательной силы тяги в транспортном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Снижение амплитуд колебаний подрессоренной массы МТА объясняется увеличением скорости движения [1, 2] с 0,841 м/с на второй передаче до 1,761 м/с – на четвертой (табл.1). Были вычислены также потери касательной силы тяги на динамические нагрузки в транспортном режиме при движении МТА на второй и четвертой передачах. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

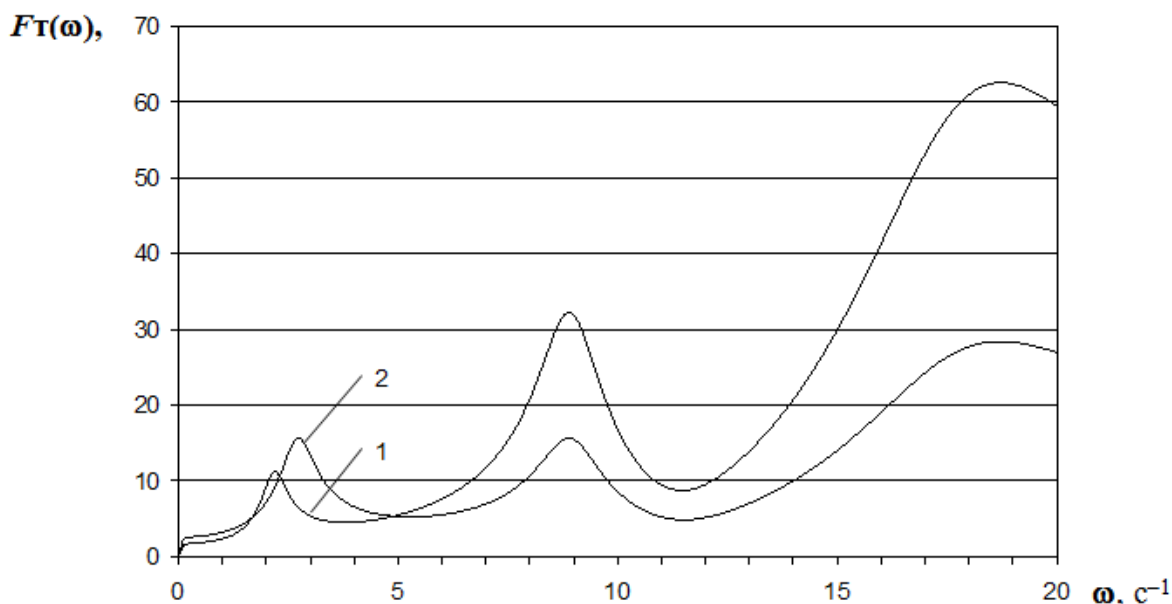


Рис. 2. АЧХ касательной силы тяги в транспортном режиме МТА с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения ($\Delta F_0 = 12,98$ кН) по передачам: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

В транспортном режиме функция $F_T(\omega)$ МТА с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения касательной силы тяги по передачам имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 2, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,2; 8,9; 18,7 \text{ с}^{-1}$, динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 11,27; 32,28; 62,56 кН;
- на четвертой передаче (рис. 2, кривая 2) $\omega_c = 2,7; 8,9; 18,7 \text{ с}^{-1}$, динамическая нагруженность в силовой передаче соответственно равна: 15,59; 15,65; 28,39 кН. Первый экстремум незначительно отличается от амплитуды МТА с штатной КПП, но существенно отличаются по частоте и амплитуде от второй передачи с $\Delta F_o = 12,98 \text{ кН}$, поскольку их передаточные числа разные, а следовательно – и их постоянные времени. Снижение амплитуд колебаний подрессоренной массы объясняется увеличением скорости движения с 0,804 м/с на второй передаче до 1,453 м/с – на четвертой (табл. 2).

Потери касательной силы тяги от динамической нагруженности, и фактически необходимая касательная сила тяги приведены в табл. 2.

Таблица 1. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 5-ти ступенчатой штатной КПП

№ передачи	$v_T(\omega)$, м/с	$v_{тф}$, м/с	$F_T(\omega)$, кН	$F_{тф}$, кН	$N_T(\omega)$, кВт	$N_{етф}$, кВт	$B_{тф}$, кг/ч	$C_{тф}$, кг/ч
IV	0,020	1,761	12,15	26,32	1,64	68,16	15,47	0,418
II	0,016	0,841	10,20	35,06	2,10	43,36	9,84	0,266

Таблица 2. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения силы тяги $\Delta F_o = 12,98 \text{ кН}$ по передачам

№ передачи	$v_T(\omega)$, м/с	$v_{тф}$, м/с	$F_T(\omega)$, кН	$F_{тф}$, кН	$N_T(\omega)$, кВт	$N_{етф}$, кВт	$B_{тф}$, кг/ч	$C_{тф}$, кг/ч
IV	0,020	1,453	11,71	25,88	1,55	55,30	12,55	0,339
II	0,015	0,804	9,98	34,84	2,02	41,19	9,35	0,252

Из сравнения расчетных значений 5-ти ступенчатой штатной КПП (табл. 1) и 5-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения силы тяги ($\Delta F_o = 12,98 \text{ кН}$) по передачам (табл. 2) следует:

- при движении МТА с штатной КПП на второй передаче потери касательной силы на динамические нагрузки снизились с 10,20 до 9,98 кН, то есть на 2,2%, фактически необходимая касательная сила также снизилась с 35,06 до 34,84 кН, то есть на 0,7%;

- на четвертой передаче динамическая нагруженность снизилась с 12,15 до 11,71 кН, то есть на 3,6%, фактически необходимая касательная сила снизилась с 25,32 до 25,88 кН, то есть на 1,7%.

Очевидно, снижение динамической нагруженности МТА с штатной КПП благоприятно сказывается на равномерность ее движения и ресурс силовой передачи.

Библиографический список

1. Добрынин Ю. А. Исследование вертикальной динамики колесного трактора на трелевке в условиях рубок промежуточного пользования: дис. ... канд. техн. наук.– Л.: ЛТА, 1973.– 205 с.
2. Прочность и долговечность автомобиля/ Б.В. Гольд, Е.П. Оболенский, Ю.Г. Стефанович, О.Ф. Трофимов– М.: Машиностроение, 1974.– 328 с.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Андронов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
ФИО	Елифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	<u>sandra85-07@mail.ru</u>

Аннотация

Определены АЧХ касательной силы тяги при движении МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 на вырубке с количеством пней до 600 шт/га с штатной 5-ти ступенчатой КПП и 5-ти ступенчатой КПП с равной величиной

приращения касательной силы тяги ($\Delta F_0 = 12,98$ кН) по передачам. АЧХ касательной силы тяги $F_T(\omega)$. Сделано сравнение работы МТА с этими КПП.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач (КПП), касательная сила тяги МТА, динамическая нагруженность МТА, амплитудно-частотные характеристики.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Сравнение энергозатрат МТА в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам

Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.

Введение

В транспортном режиме величина затрачиваемой мощности $N_T(\omega)$ МТА с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения касательной силы по передачам имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,2; 8,8; 18,0$ с⁻¹, максимальные затраты мощности при этих частотах соответственно равны: 1,09; 0,27; 0,22 кВт;
- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) $\omega_c = 2,7; 8,8; 18,0$ с⁻¹, максимальные затраты мощности при этих частотах соответственно равны: 0,90; 0,24; 0,19 кВт.

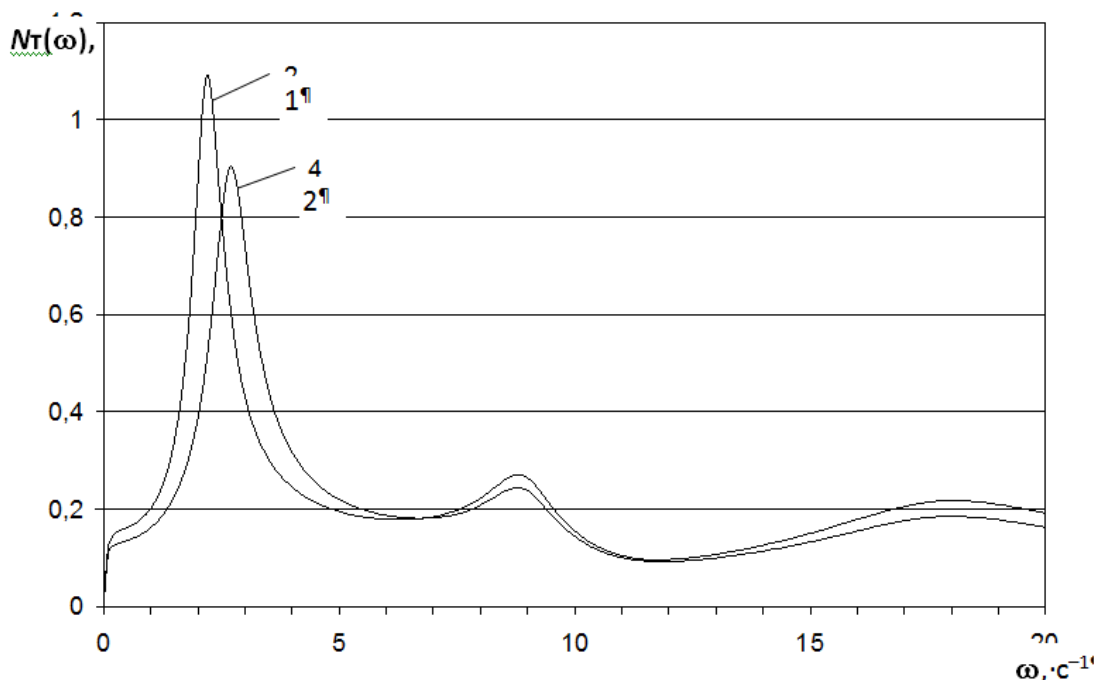


Рис. 1. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в транспортном режиме МТА с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения ($\Delta F_0 = 12,98$ кН) по передачам: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Величина затрачиваемой мощности на второй передаче при первой собственной частоте больше, чем на четвертой [1]. Были вычислены потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения затрачиваемой мощности, часового расхода топлива и масла на угар. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения силы тяги $\Delta F_o = 12,98$ кН по передачам

№ передачи	$v_T(\omega)$, м/с	$v_{Tф}$, м/с	$F_T(\omega)$, кН	$F_{Tф}$, кН	$N_T(\omega)$, кВт	$N_{етф}$, кВт	$B_{Tф}$, кг/ч	$C_{Tф}$, кг/ч
<i>IV</i>	0,020	1,453	11,71	25,88	1,55	55,30	12,55	0,339
<i>II</i>	0,015	0,804	9,98	34,84	2,02	41,19	9,35	0,252

Таблица 2. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 5-ти ступенчатой штатной КПП

№ передачи	$v_T(\omega)$, м/с	$v_{Tф}$, м/с	$F_T(\omega)$, кН	$F_{Tф}$, кН	$N_T(\omega)$, кВт	$N_{етф}$, кВт	$B_{Tф}$, кг/ч	$C_{Tф}$, кг/ч
<i>IV</i>	0,020	1,761	12,15	26,32	1,64	68,16	15,47	0,418
<i>II</i>	0,016	0,841	10,20	35,06	2,10	43,36	9,84	0,266

Из сравнения расчетных значений 5-ти ступенчатой штатной КПП (табл. 2) и 5-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения силы тяги ($\Delta F_o = 12,98$ кН) по передачам (табл. 1) следует:

- на второй передаче затраты мощности на динамические нагрузки снизились с 2,10 до 2,02 кВт, то есть на 0,5%. Фактически необходимая мощность снизилась с 43,36 до 41,19 кВт, то есть на 5,0%. Часовой расход топлива снизился с 9,84 до 9,35 кг/ч, то есть на 5,0%, расход масла на угар – с 0,266 до 0,252 кг/ч, то есть на 5,3%. Экономия энергозатрат и масла на угар объясняются снижением скорости движения и величины касательной силы тяги (табл. 1, 2);
- на четвертой передаче затраты мощности на динамические нагрузки снизились с 1,64 до 1,55 кВт, то есть – на 5,5%, Фактически необходимая мощность снизилась с 68,16 до 55,30 кВт, то есть на 18,9%. Часовой расход топлива снизился с 15,47 до 12,55 кг/ч, то есть на 18,9%, расход масла на угар – с 0,418 до 0,339 кг/ч, то есть на 19,0%. Объясняется это снижением скорости движения МТА с 1,761 м/с до 1,453 м/с и касательной силы тяги с 26,32 до 25,88 кН (табл. 1, 2).

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Михайлов О.А., Дурманов М.Я., Епифанова А.Ю. Затраты энергии на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в транспортном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. -2015. -№212, -с.104-112.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	<u>sandra85-07@mail.ru</u>

Аннотация

Приводится сравнение энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

О работе 5-ти и 6-ти ступенчатых коробок перемены передач с постоянным передаточным рядом в сравнении с работой штатной коробки перемены передач в транспортном режиме машинно-тракторного агрегата

Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.

Введение

В транспортном режиме переменная составляющая касательной силы тяги $F_T(\omega)$ машинно-тракторного агрегата (МТА) с 5-ти ступенчатой коробкой

перемены передач (КПП) и постоянным передаточным рядом имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,3; 8,9; 18,7 \text{ с}^{-1}$, динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 12,33; 32,43; 62,63 кН. Амплитуда первого экстремума незначительно отличается от амплитуды МТА с штатной КПП [1], так как их передаточные числа близки по величине. Амплитуды второго и третьего экстремумов также незначительно отличаются от амплитуд МТА с штатной КПП [1], поскольку скорости их движения близки;
- на четвертой передаче (рис.1, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 8,9; 18,7 \text{ с}^{-1}$, динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 16,67; 15,89; 28,49 кН. Первый экстремум незначительно отличается от амплитуды МТА со штатной КПП [1], но существенно отличается по частоте и амплитуде от второй передачи, так как имеют разные передаточные числа, следовательно – разные постоянные времени. Снижение амплитуд колебаний подрессоренной массы объясняется увеличением скорости движения с 0,911 м/с на второй передаче до 1,753 м/с – на четвертой (табл. 1).

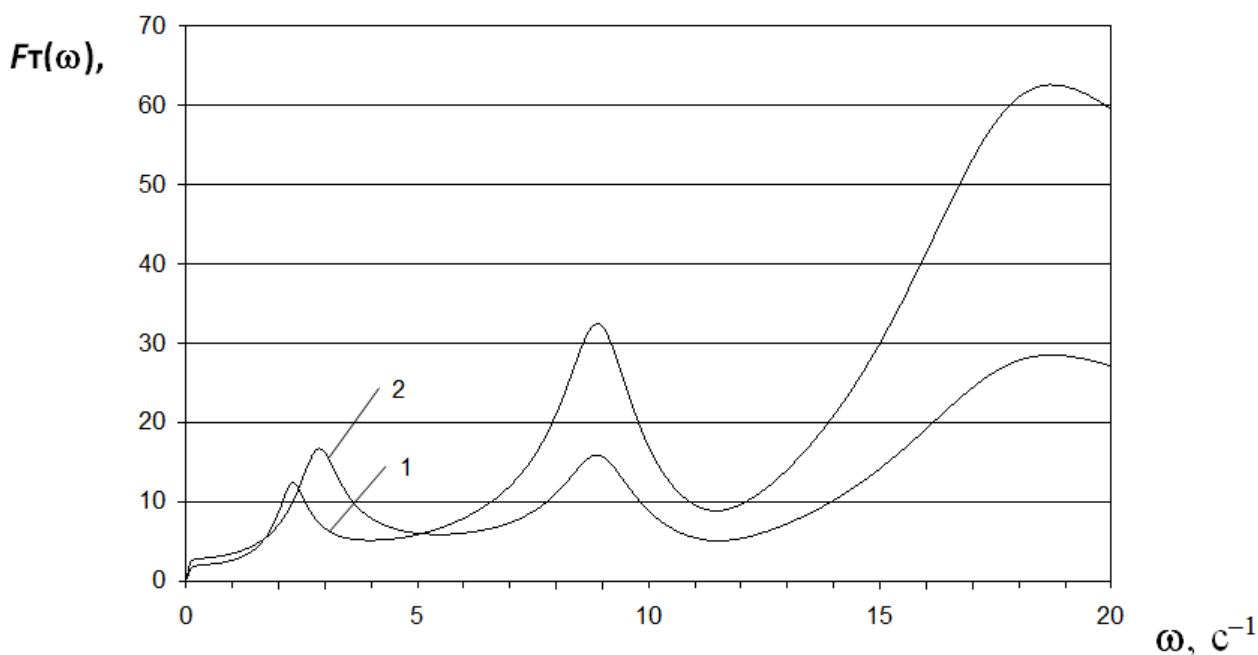


Рис. 1. АЧХ касательной силы тяги в транспортном режиме МТА с 5-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,3832$): 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Таблица 1. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 5-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,3832$)

№ передачи	$v_T(\omega)$, м/с	$v_{Tф}$, м/с	$F_T(\omega)$, кН	$F_{Tф}$, кН
<i>IV</i>	0,020	1,753	12,14	26,31
<i>II</i>	0,016	0,911	10,58	35,44

Таблица 2. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 5-ти ступенчатой штатной КПП

№ передачи	$v_T(\omega)$, м/с	$v_{Tф}$, м/с	$F_T(\omega)$, кН	$F_{Tф}$, кН
<i>IV</i>	0,020	1,761	12,15	26,32
<i>II</i>	0,016	0,841	10,20	35,06

Из сравнения расчетных значений МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП (табл. 2) и с 5-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр}=1,3832$) (табл.1) следует:

- при движении МТА с штатной КПП на второй передаче потери касательной силы тяги на динамические нагрузки возросли с 10,20 до 10,58 кН, то есть на 3,7%, фактически необходимая касательная сила тяги также увеличилась с 35,06 до 35,44 кН, то есть на 1,1%;
- на четвертой передаче динамические нагрузки незначительно снизились с 12,15 до 12,14 кН, то есть на 0,1% – в пределах погрешности вычислений. Фактически необходимая касательная сила тяги также снизилась с 26,32 до 26,31 кН, то есть на 0,03%. Очевидно, динамическая нагруженность при движении на второй передаче несколько выше, чем при движении на четвертой и на второй МТА с штатной КПП.

В транспортном режиме функция $F_T(\omega)$ МТА с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 2, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,2; 8,9; 18,7 \text{ с}^{-1}$, динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 11,63; 32,35; 62,59 кН. Амплитуда первого экстремума незначительно отличается от амплитуды МТА с штатной КПП [1] вследствие близости по величине их передаточных чисел. Амплитуды второго и третьего экстремумов также незначительно отличаются от амплитуд МТА с штатной КПП, вследствие близости скоростей их движения (табл. 2, табл. 3.);
- на пятой передаче (рис. 2, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 8,9; 18,7 \text{ с}^{-1}$, динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно

равна: 16,92; 15,97; 28,52 кН. Первый экстремум соответствует собственной частоте колебаний частоты вращения двигателя с приведенной к коленчатому валу массой МТА. Незначительно отличается по амплитуде и частоте от МТА с штатной КПП. Снижение амплитуд колебаний подрессоренной массы также объясняется увеличением скорости движения с 0,853 м/с на второй передаче до 1,871 м/с – на пятой (табл. 3).

Таблица 3. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,2963$)

№ передачи	$v_t(\omega)$, м/с	$v_{тф}$, м/с	$F_t(\omega)$, кН	$F_{тф}$, кН
<i>V</i>	0,021	1,871	12,21	26,38
<i>II</i>	0,016	0,853	10,26	35,12

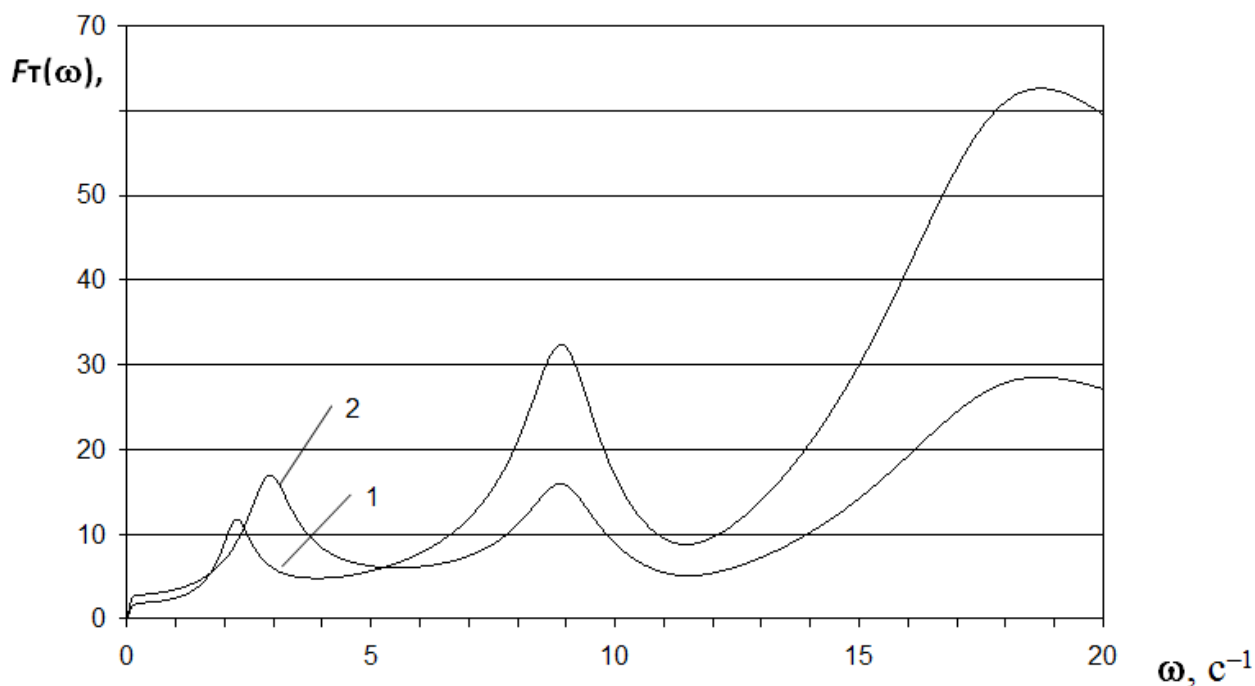


Рис. 2. АЧХ касательной силы тяги в транспортном режиме МТА с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,2963$): 1 – вторая передача; 2 – пятая передача

Из сравнения расчетных значений МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП (табл. 2), с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр}=1,2963$) (табл. 3) следует:

- при движении МТА со штатной КПП на второй передаче потери касательной силы тяги на динамические нагрузки возросли с 10,20 до 10,26

- кН, то есть на 0,6%, фактически необходимая касательная сила тяги увеличилась с 35,06 до 35,12 кН, то есть на 0,2%;
- на пятой передаче динамические нагрузки незначительно возросли с 12,15 до 12,21 кН, то есть на 0,5%. Фактически необходимая касательная сила тяги также увеличилась с 26,32 до 26,38 кН, то есть на 0,2%.

Очевидно, значения динамической нагруженности и фактически необходимой касательной силы тяги весьма близки, как при движении МТА со штатной КПП, так и при движении с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,2963$).

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Епифанова А.Ю. Выбор передаточного ряда трансмиссии машинно-тракторного агрегата//LVII Международная научная конференция: научные исследования и разработки: сб.научных трудов/ Евразийское Научное Объединение. – М. :ЕНО, 2019. – № 11-2 (57). – С. 98-103.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Андронов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена работа 5-ти и 6-ти ступенчатых коробок перемены передач с постоянным передаточным рядом в сравнении с работой штатной коробки перемены передач в транспортном режиме машинно-тракторного агрегата на базе лесохозяйственного трактора ЛХТ-100.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, касательная сила тяги МТА, динамическая нагруженность МТА, амплитудно-частотные характеристики, амплитуд колебаний подрессоренной массы МТА.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Анализ эффективности использования касательная силы тяги машинно-тракторного агрегата с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения силы тяги по передачам

Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.

Введение

В пахотном режиме необходимая касательная сила тяги состоит из регулярной (средней) составляющей $F_{п0}$, и переменной составляющей $F_{п(\omega)}$. Были определены амплитудно-частотные характеристики касательной силы тяги на пахоте для машинно-тракторного агрегата (МТА) на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 на вырубке с количеством пней до 600 шт/га с различными КПП. В пахотном режиме амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) касательной силы тяги $F_{п(\omega)}$ МТА с различными типами КПП имеют два экстремума. Первый экстремум соответствует собственной резонансной частоте колебаний частоты вращения двигателя с приведенной к коленчатому валу массой МТА. Второй экстремум соответствует собственной частоте колебаний подрессоренной массы МТА в продольно-вертикальной плоскости, величина которой зависит от жесткости подвеса.

В пахотном режиме функция $F_{п(\omega)}$ МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП [1] имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,2; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 11,14 и 18,90 кН;

- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 16,35 и 9,04 кН.

Снижение амплитуды колебаний подрессоренной массы МТА объясняется увеличением скорости движения с 0,841 м/с на второй передаче до 1,761 м/с – на четвертой (табл. 1). Фактически необходимая касательная сила тяги с учетом динамических потерь определится как сумма $F_{пф} = F_{по} + F_{п}(\omega)$. Здесь $F_{п}(\omega)$ – потери касательной силы тяги на динамические нагрузки в пахотном режиме при движении МТА на второй и четвертой передачах.

В пахотном режиме функция $F_{п}(\omega)$ МТА с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения касательной силы имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 2, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,2; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 10,83 и 18,88 кН;
- на четвертой передаче (рис. 2, кривая 2) $\omega_c = 2,7; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 15,29; 8,94 кН. Снижение амплитуды колебаний подрессоренной массы МТА объясняется увеличением скорости движения с 0,804 м/с на второй передаче до 1,453 м/с – на четвертой (табл. 1).

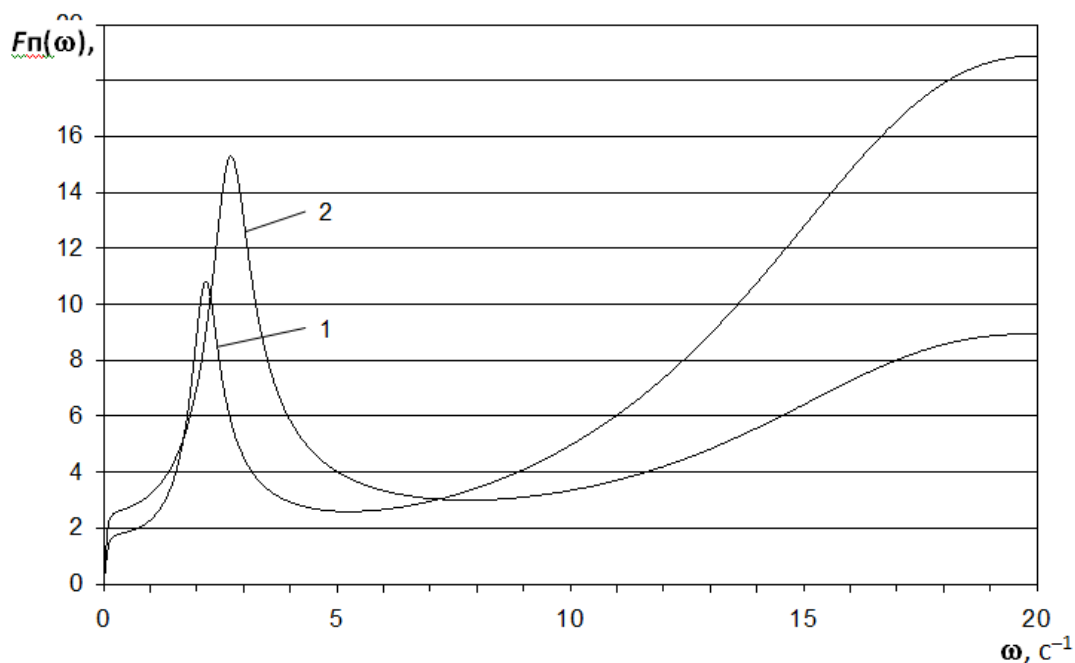


Рис. 1. АЧХ касательной силы тяги в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

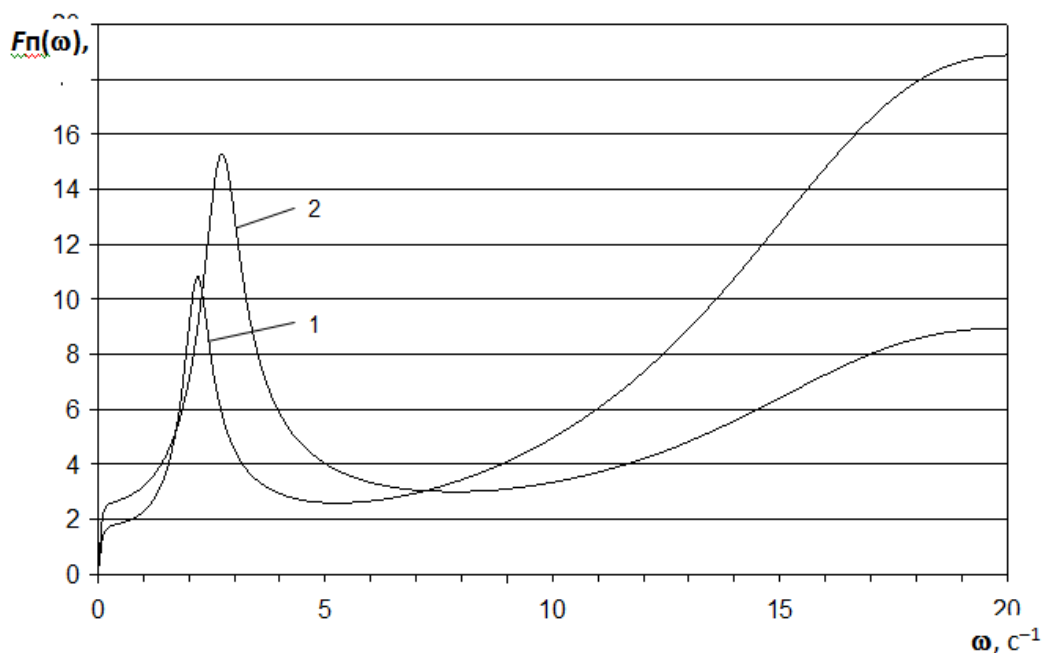


Рис. 2. АЧХ касательной силы тяги в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения ($\Delta F_0 = 12,98$ кН) по передачам: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Из сравнения расчетных значений (табл. 1) МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП, с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения силы тяги ($\Delta F_0 = 12,98$ кН) по передачам следует:

- при движении МТА с штатной КПП на второй передаче потери касательной силы на динамические нагрузки снизились с 8,87 до 8,63 кН, то есть на 2,7%, фактически необходимая касательная сила снизилась с 59,76 до 59,50 кН, то есть на 0,4%;
- на четвертой передаче динамическая нагруженность снизилась с 11,70 до 11,23 кН, то есть на 4,0%, фактически необходимая касательная сила также снизилась с 34,78 до 34,16 кН, то есть на 1,8%.

Таблица 1. Фактические значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в рядовых условиях пахоты

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА			
			$v(\omega)$, м/с	v_ϕ , м/с	$F_\phi(\omega)$, кН	F_ϕ , кН
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,761	11,70	34,78
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,841	8,87	59,76
КПП-5 $\Delta F_0=12,98$ кН	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,453	11,23	34,16
	т.у.	<i>II</i>	0,015	0,804	8,63	59,50

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Епифанова А.Ю. Выбор передаточного ряда трансмиссии машинно-тракторного агрегата//LVII Международная научная конференция: научные исследования и разработки: сб.научных трудов/ Евразийское Научное Объединение. – М. :ЕНО, 2019. – № 11-2 (57). – С. 98-103.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Андронов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена работа машинно-тракторного агрегата на базе лесохозяйственного трактора ЛХТ-100 с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения силы тяги по передачам в пахотном режиме.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, касательная сила тяги МТА, динамическая нагруженность МТА, амплитудно-частотные характеристики, амплитуд колебаний подрессоренной массы МТА.

УДК 62-1

Различия в использовании касательной силы тяги машинно-тракторным агрегатом при комплектовании 5-ти ступенчатой штатной КПП и 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом

Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.

Введение

В пахотном режиме переменная составляющая силы тяги $F_n(\omega)$ машинно-тракторного агрегата (МТА) с 5-ти ступенчатой штатной КПП [1] имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,2; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 11,14 и 18,90 кН;
- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 16,35 и 9,04 кН. Снижение амплитуды колебаний подрессоренной массы МТА объясняется увеличением скорости движения с 0,841 м/с на второй передаче до 1,761 м/с – на четвертой (табл. 1). Фактически необходимая касательная сила тяги с учетом динамических потерь определится как сумма $F_{пф} = F_{по} + F_n(\omega)$. Здесь $F_n(\omega)$ – потери касательной силы тяги на динамические нагрузки в пахотном режиме при движении на второй и четвертой передачах.

В пахотном режиме переменная составляющая силы тяги $F_n(\omega)$ МТА с 5-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 2, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,3; 19,9 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 11,85 и 18,95 кН;
- на четвертой передаче (рис. 2, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 19,9 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 16,32; 9,04 кН. Снижение амплитуды колебаний подрессоренной массы при движении на четвертой передаче объясняется увеличением скорости движения с 0,911 м/с на второй передаче до 1,753 м/с – на четвертой (табл. 1).

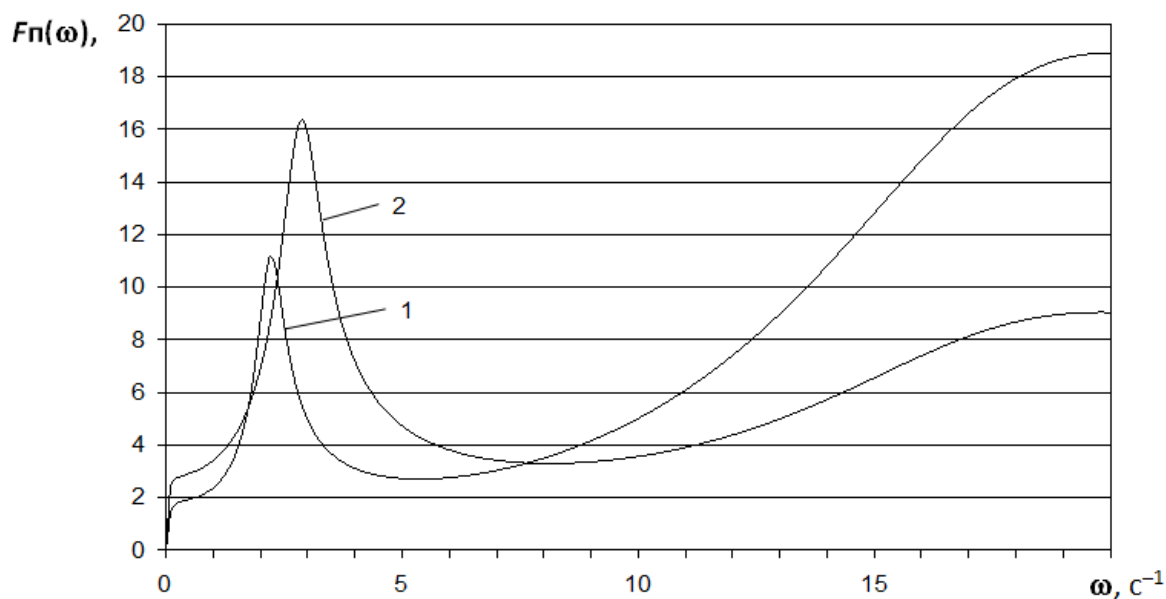


Рис. 1. АЧХ касательной силы тяги в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

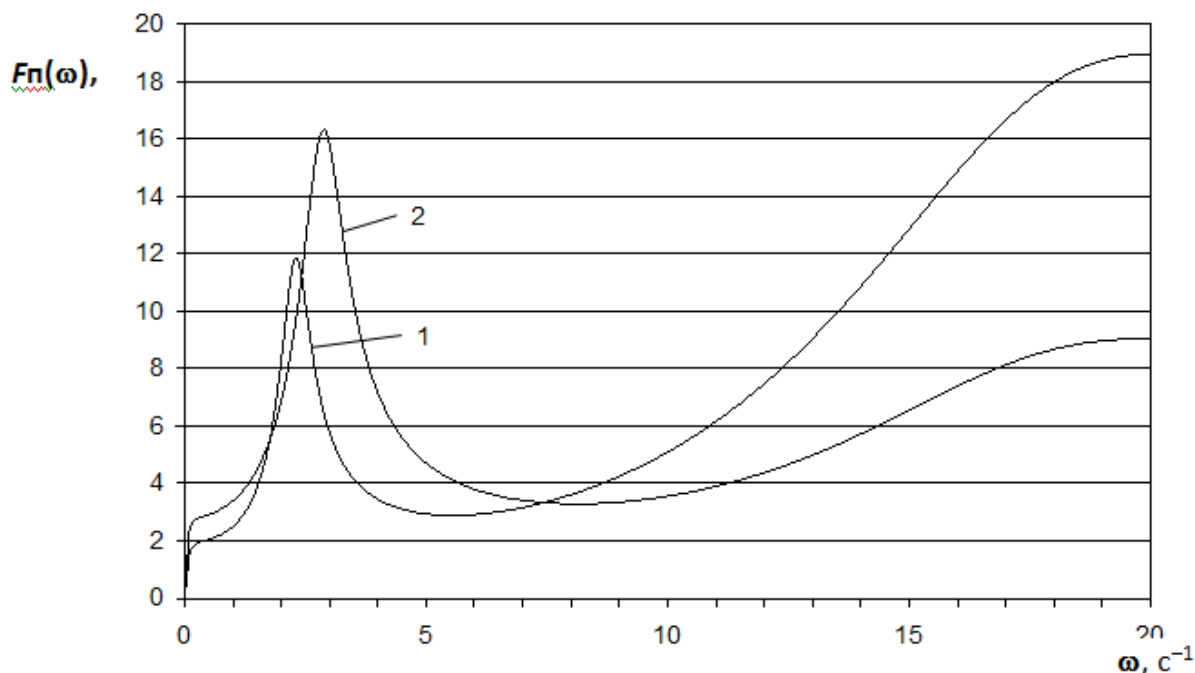


Рис. 2. АЧХ касательной силы тяги в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,3832$): 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Из сравнения расчетных значений МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП с 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,3832$) (табл.1) следует:

- на второй передаче потери касательной силы тяги на динамические нагрузки увеличились с 8,87 до 9,30 кН, то есть на 4,9%. Фактически

необходимая касательная сила тяги также увеличилась с 59,76 до 60,21 кН, то есть на 0,8%;

- на четвертой передаче потери касательной силы на динамические нагрузки остались без изменений. Фактически необходимая касательная сила тяги также осталась без изменений (табл. 1).

Очевидно, при движении МТА на второй передаче потери на динамические нагрузки больше на 4,9%, чем у МТА с штатной КПП, вследствие чего фактически необходимая касательная сила тяги увеличилась на 0,8%. На четвертой передаче потери на динамические нагрузки и фактически необходимая касательная сила тяги остались без изменений.

Таблица 1. Фактические значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 с 5-ти ступенчатой штатной КПП и 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом в рядовых условиях пахоты

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА			
			$v(\omega)$, м/с	v_{ϕ} , м/с	$F_{\phi}(\omega)$, кН	F_{ϕ} , кН
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,761	11,70	34,78
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,841	8,87	59,76
КПП-5 $i_{np} = 1,3832$	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,453	11,23	34,16
	т.у.	<i>II</i>	0,015	0,804	8,63	59,50

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Епифанова А.Ю. Выбор передаточного ряда трансмиссии машинно-тракторного агрегата//LVII Международная научная конференция: научные исследования и разработки: сб.научных трудов/ Евразийское Научное Объединение. – М. :ЕНО, 2019. – № 11-2 (57). – С. 98-103.

Сведения об авторах

ФИО Власов Е.Н
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

ФИО Андронов А.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail andronovalexandr@gmail.com

ФИО Епифанова Александра Юрьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена работа машинно-тракторного агрегата на базе лесохозяйственного трактора ЛХТ-100 с при комплектовании 5-ти ступенчатой штатной КПП и 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,3832$) в пахотном режиме.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, касательная сила тяги МТА, динамическая нагруженность МТА, амплитудно-частотные характеристики, амплитуд колебаний подрессоренной массы МТА.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Различия в использовании касательной силы тяги машинно-тракторным агрегатом при комплектовании 5-ти ступенчатой штатной КПП и 6-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения касательной силы по передачам

Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.

Введение

В пахотном режиме переменная составляющая силы тяги $F_n(\omega)$ машинно-тракторного агрегата(МТА) с 5-ти ступенчатой штатной КПП [1] имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,2; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 11,14 и 18,90 кН;
- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 16,35 и 9,04 кН. Снижение амплитуды колебаний подрессоренной массы МТА объясняется увеличением скорости движения с 0,841 м/с на второй передаче до 1,761 м/с – на четвертой (табл. 1). Фактически необходимая касательная сила тяги с учетом динамических потерь определится как сумма $F_{пф} = F_{по} + F_{п}(\omega)$. Здесь $F_{п}(\omega)$ – потери касательной силы тяги на динамические нагрузки в пахотном режиме при движении МТА на второй и четвертой передачах.

В пахотном режиме функция $F_{п}(\omega)$ МТА с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения касательной силы имеет следующие экстремумы:

- на третьей передаче (рис. 2, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,3; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 11,92 и 18,95 кН;
- на пятой передаче (рис. 2, кривая 2) $\omega_c = 2,8; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 15,84; 8,99 кН. Снижение амплитуды колебаний подрессоренной массы МТА объясняется увеличением скорости движения с 0,928 м/с на третьей передаче до 1,583 м/с – на пятой (табл. 1).

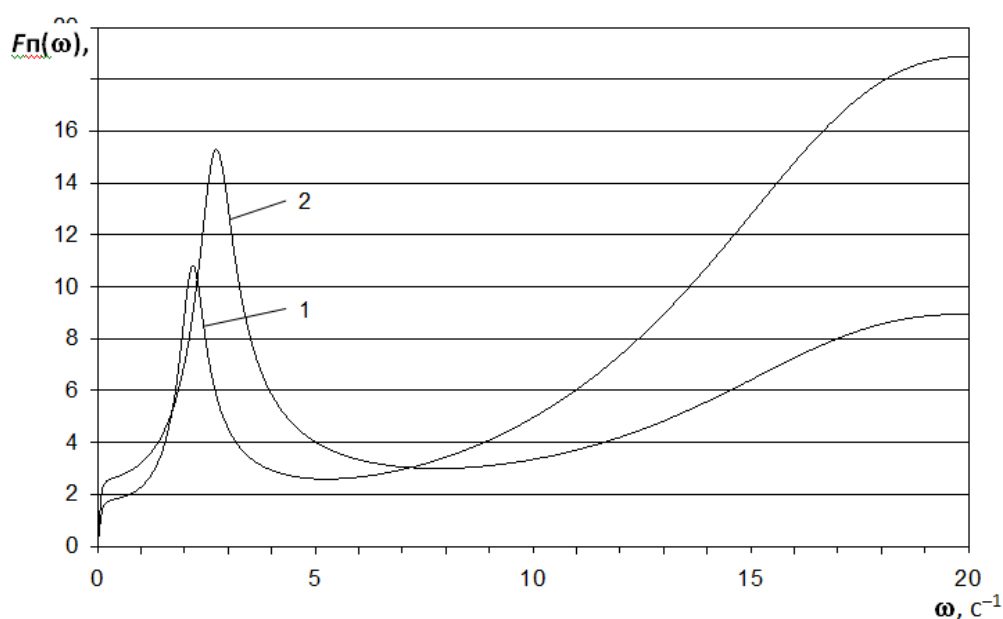


Рис. 1. АЧХ касательной силы тяги в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

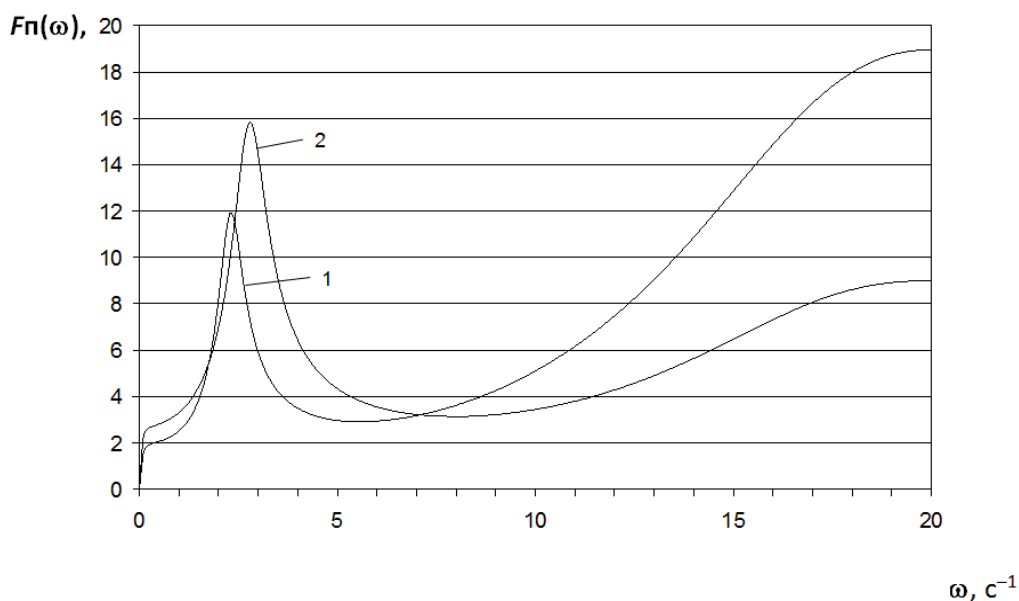


Рис. 2. АЧХ касательной силы тяги в пахотном режиме МТА с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения ($\Delta F_0 = 10,38$ кН) по передачам: 1 – третья передача; 2 – пятая передача

Из сравнения расчетных значений 5-ти ступенчатой штатной КПП [1] и 6-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения силы тяги ($\Delta F_0 = 10,38$ кН) по передачам (табл. 1) следует:

- на третьей передаче потери касательной силы тяги на динамические нагрузки увеличились с 8,87 до 9,40 кН, то есть на 6,0%, фактически необходимая касательная сила также увеличилась с 59,76 до 60,32 кН, то есть на 0,9%;
- на пятой передаче динамические нагрузки незначительно снизились с 11,70 до 11,49 кН, то есть на 1,0%, фактически необходимая касательная сила тяги также снизилась с 34,78 до 34,48 кН, то есть на 0,9%.

Очевидно, при движении МТА на третьей передаче нагруженность в трансмиссии увеличивается, на пятой – снижается. Это неблагоприятно сказывается на ресурсе силовой передачи и равномерности движения МТА на различных передачах.

Таблица 1. Фактические значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 с 5-ти ступенчатой штатной КПП и 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения касательной силы тяги в условиях пахоты

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА			
			$v(\omega)$, м/с	v_{ϕ} , м/с	$F_{\phi}(\omega)$, кН	F_{ϕ} , кН
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,761	11,70	34,78
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,841	8,87	59,76
	т.у.	<i>II</i>	0,015	0,804	8,63	59,50
КПП-6 $\Delta F_0=10,38$ кН	л.у.	<i>V</i>	0,020	1,583	11,49	34,48
	т.у.	<i>III</i>	0,016	0,928	9,40	60,32
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,911	9,30	60,21
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,853	8,95	59,84

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Епифанова А.Ю. Выбор передаточного ряда трансмиссии машинно-тракторного агрегата//LVII Международная научная конференция: научные исследования и разработки: сб.научных трудов/ Евразийское Научное Объединение. – М. :ЕНО, 2019. – № 11-2 (57). – С. 98-103.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Андронов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	andronovalexandr@gmail.com

ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена работа машинно-тракторного агрегата на базе лесохозяйственного трактора ЛХТ-100 с при комплектовании 5-ти ступенчатой штатной КПП и 6-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения касательной силы по передачам в пахотном режиме.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, касательная сила тяги МТА, динамическая нагруженность МТА, амплитудно-частотные характеристики, амплитуд колебаний подрессоренной массы МТА.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Различия в использовании касательной силы тяги машинно-тракторным агрегатом при комплектовании 5-ти ступенчатой штатной КПП и 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом

Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.

Введение

В пахотном режиме переменная составляющая силы тяги $F_n(\omega)$ машинно-тракторного агрегата(МТА) с 5-ти ступенчатой штатной КПП [1] имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,2; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 11,14 и 18,90 кН;
- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 19,8 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 16,35 и 9,04 кН. Снижение амплитуды колебаний подрессоренной массы МТА объясняется увеличением скорости движения с 0,841 м/с на второй передаче до 1,761 м/с – на четвертой (табл. 1). Фактически необходимая касательная сила тяги с учетом динамических потерь

определится как сумма $F_{пф} = F_{по} + F_{п}(\omega)$. Здесь $F_{п}(\omega)$ – потери касательной силы тяги на динамические нагрузки в пахотном режиме при движении на второй и четвертой передачах.

В пахотном режиме переменная составляющая силы тяги $F_{п}(\omega)$ МТА с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 2, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,2; 19,9 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 11,19 и 18,92 кН;
- на пятой передаче (рис. 2, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 19,9 \text{ с}^{-1}$. Динамическая нагруженность в силовой передаче при этих частотах соответственно равна: 16,57 и 9,07 кН. Снижение амплитуды колебаний подрессоренной массы МТА при движении на пятой передаче объясняется увеличением скорости движения с 0,853 м/с на второй передаче до 1,871 м/с – на пятой (табл. 1).

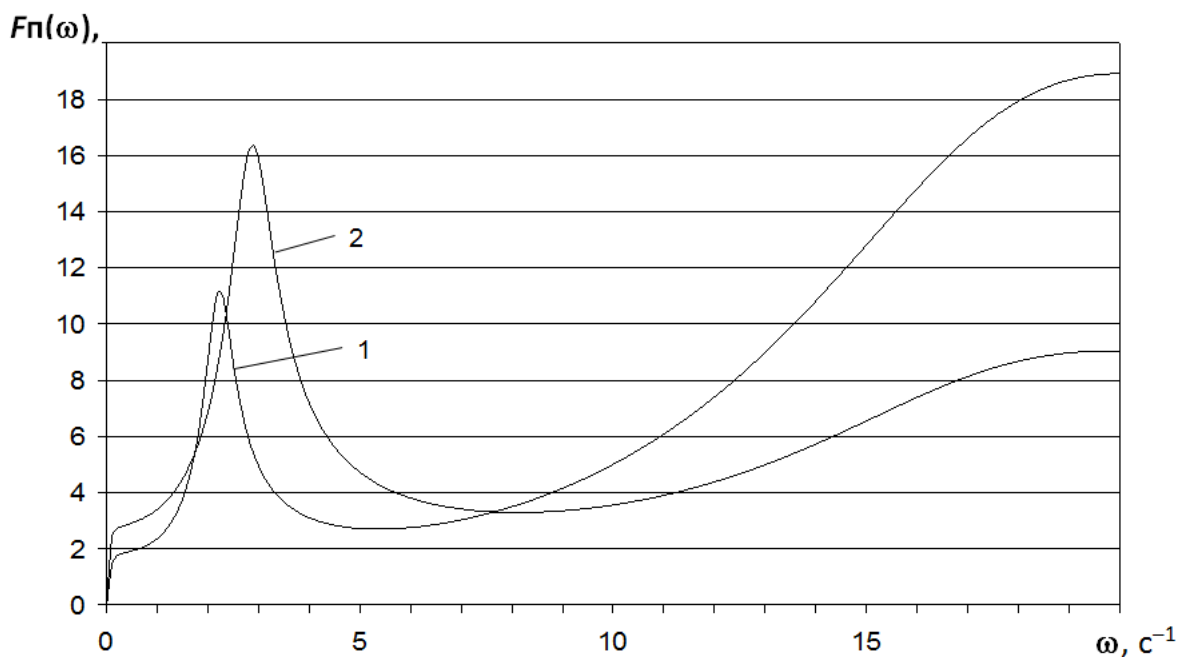


Рис. 1. АЧХ касательной силы тяги в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

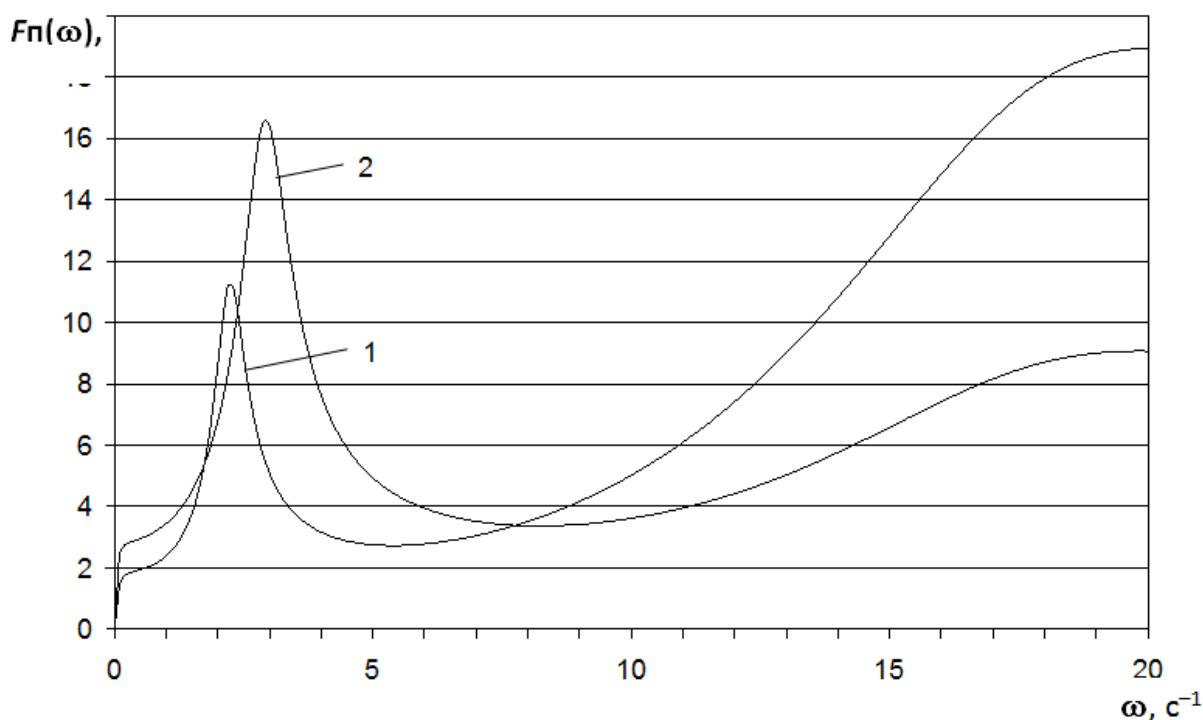


Рис. 2. АЧХ касательной силы тяги в пахотном режиме МТА с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,2963$): 1 – вторая передача; 2 – пятая передача

Из сравнения расчетных значений МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП и с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,2963$) следует (табл. 1):

- на второй передаче потери касательной силы тяги на динамические нагрузки увеличились с 8,87 до 8,95 кН, то есть на 0,9%. Фактически необходимая касательная сила тяги также увеличилась с 59,76 до 59,84 кН, то есть на 0,1%;
- на пятой передаче потери касательной силы тяги на динамические нагрузки увеличились с 11,70 до 11,78 кН, то есть на 0,7%. Фактически необходимая касательная сила тяги также увеличилась с 34,78 до 34,93 кН, то есть на 0,4% (табл. 1).

Из выполненного анализа влияния различных типов КПП на потери касательной силы тяги от динамической нагруженности следует:

- в транспортном режиме для легких условий потери больше, чем для тяжелых в среднем на 16,4%. Наибольшие у МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП – 19,1% и с 6-ти ступенчатой КПП ($i_{пр} = 1,2963$) – 19,0%;
- в пахотном режиме для легких условий потери также больше, чем для тяжелых в среднем на 24,2%. Наибольшие у МТА с 5-ти ступенчатой

штатной КПП – 31,9% и с 6-ти ступенчатой КПП ($i_{пр} = 1,2963$) – 31,6%;
Объясняется это повышенной скоростью движения в легких условиях функционирования и неудовлетворительной системой поддрессоривания МТА.

Таблица 1. Фактические значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 с 5-ти ступенчатой штатной КПП и 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения касательной силы тяги в условиях пахоты

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА			
			$v(\omega)$, м/с	v_{ϕ} , м/с	$F_{\phi}(\omega)$, кН	F_{ϕ} , кН
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,761	11,70	34,78
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,841	8,87	59,76
КПП-6 $i_{пр}=1,2963$	л.у.	<i>V</i>	0,021	1,871	11,78	34,93
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,853	8,95	59,84

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Епифанова А.Ю. Выбор передаточного ряда трансмиссии машинно-тракторного агрегата//LVII Международная научная конференция: научные исследования и разработки: сб.научных трудов/ Евразийское Научное Объединение. – М. :ЕНО, 2019. – № 11-2 (57). – С. 98-103.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Андронов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	andronovalexandr@gmail.com

ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена работа машинно-тракторного агрегата на базе лесохозяйственного трактора ЛХТ-100 при комплектовании 5-ти ступенчатой штатной КПП и 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,2963$) в пахотном режиме.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, касательная сила тяги МТА, динамическая нагруженность МТА, амплитудно-частотные характеристики, амплитуд колебаний подрессоренной массы МТА.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Обзор основных методов проектирования технических систем в лесном машиностроении

Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.

Основным методом проектирования является чертежный, при котором сначала создают чертежи изделия, а затем по ним осуществляется его изготовление.

Особенности чертежного метода:

- создание проекта изделия отделено от его изготовления. Это позволяет, во-первых, «экспериментировать» на чертежах, а не на самом изделии и, во-вторых, осуществлять разделение труда разработчиков и изготовителей с отделением их друг от друга;
- резко возросшие благодаря разделению труда темпы создания и изготовления изделий;
- возможность создания изделий, которые принципиально не могут быть созданы одним человеком.

Однако чертежный метод проектирования имеет один существенный недостаток: над чертежом всего изделия в начальный период его создания

работает только один человек, который сначала вынашивает идею и общий вид изделия, а затем переносит все это на бумагу [1]. Только после этого подключаются другие специалисты. Это не позволяет привлекать несколько человек к наиболее ответственному этапу работы и поэтому ограничивает не только сроки и технический уровень разработок, но и, что имеет принципиальное значение, степень сложности изделий, которые могут быть созданы таким методом, основанным в значительной степени на знаниях и опыте одного человека. Последнее является одной из основных причин необходимости применения новых методов и методик проектирования, лежащих в основе САПР, позволяющих перейти к коллективному творчеству.

Для этого необходимо, чтобы руководитель проекта стал как бы «мыслить вслух», чтобы другие специалисты могли следить за его мыслями и принимать участие в творческом процессе. Необходимо, также, сделать возможным разбиение сложных задач на более простые, решаемые параллельно.

Рассмотрим некоторые методы проектирования, используемые с целью преодоления указанного недостатка. Их можно разбить на две группы – эвристические и алгоритмические [2].

Эвристические методы основаны на предпосылке, что творческий процесс не формализуем и базируется на накопленном и упорядоченном в мозгу человека опыте. К таким методам относятся следующие: метод мозговой атаки (мозгового штурма); метод синектики; метод элементарных вопросов, и др.

Метод мозговой атаки имеет основной целью осуществить генерацию возможно большего числа идей по решению поставленной задачи для их последующего анализа. Он может применяться на всех стадиях проектирования.

Основные этапы этого метода:

- отбирается группа лиц для генерации идей;
- устанавливается основное правило: не критиковать идеи друг друга, а подхватывать их, максимально развивать и комбинировать;
- участники разбиваются на несколько групп, все члены которых в течение нескольких минут записывают свои идеи решения поставленной задачи. Затем их предложения зачитываются вслух. При этом участники записывают появившиеся под действием услышанного новые идеи;
- проводится классификация и оценка всех идей. Главную ценность при этом представляют не сами конкретные идеи, а выявленные новые направления мыслей;
- результаты передаются специалистам по данной проблеме для анализа и дальнейшего поиска в предложенных направлениях.

Метод синектики заключается в поиске новых идей путем стимулирования спонтанной деятельности мозга на основе аналогий. Для этого создается группа специалистов разных профессий (группа синектики), которая в свободных беседах, направляемых руководителем группы, генерирует всевозможные аналогии требуемому изделию – прямые (например, из биологических систем), субъективные (путем представления себя или частей своего тела в роли такого изделия и т.п.), символические, абстрактные, фантастические и т.д. Конечным результатом работы группы становится макет изделия.

Алгоритмические методы – это формализованные методы, доведенные до математических алгоритмов процедуры проектирования: метод морфологических карт; метод графов зависимостей и др.

Метод морфологических карт имеет целью расширить область поиска решений. Последовательность действий по этому методу такова:

- определяется перечень максимально независимых функций, которые должно выполнять изделие;
- составляется перечень возможных технических реализаций каждой их перечисленных функций в виде таблицы, в первом столбце которой перечисляются функции, а в каждой строчке – способы их осуществления.

Путем анализа таблицы выбирается по одному наиболее перспективному решению для каждой функции. Их совокупность дает одно из возможных решений задачи. В таблице этому решению будет соответствовать последовательность клеток сверху вниз, соответствующих выбранным решениям для отдельной функции. Таким образом, может быть синтезировано несколько возможных решений, из которых затем выбирается наилучшее. Эта таблица называется морфологической картой.

При выборе частных решений для отдельных функций учитывается необходимость их совместимости, а также техническая эффективность.

Общее число теоретически возможных решений, охватываемых этим методом, может быть очень велико: так, например, таблица из 10 строк и 10 столбцов содержит 10 миллиардов комбинаций. Однако это и является, основной целью метода – максимально расширить область поиска.

Метод графов зависимостей – это графический метод построения графа поиска решения в виде «дерева решений» и применения к нему определенных правил поиска искомого пути решения. Правила эти формализованы в виде задачи поиска оптимума выбранного критерия качества решения.

Часто разработчик сталкивается с тупиковыми ситуациями, когда область поиска, в которой он ищет решение, не дает приемлемого решения. Существует ряд методов преодоления тупиковых ситуаций. Все они могут быть сведены к

трем типам методов[3]: правила преобразований, применяемые к имеющемуся неудовлетворительному решению; поиск новых взаимосвязей между частями неудовлетворительного решения; переоценка проектной ситуации.

Пример метода первого типа: записываются синонимы к словам, определяющим имеющееся неудовлетворительно решение, и на их основе ищут новые идеи. Пусть, например, стоит задача поиска способа быстрой ликвидации воды на дороге после дождя. Возьмем заведомо неудовлетворительное решение – дожидаться их естественного испарения – и запишем различные синонимы для ключевого слова «испариться»: скрыться, улетучиться, рассосаться, исчезнуть, выветриться и т.д.

Каждое из этих слов может натолкнуть на новые идеи решения задачи: слово «скрыться» – на решетчатое или перфорированное покрытие дороги, слово «улетучиться» – на отсасывание воды, слово «рассосаться» – на использование пористого покрытия и т.д.

Суть методов второго типа – в переборе совокупностей отдельных частей изделия с целью поиска возникающих при этом ассоциаций для нового

Пример методов третьего типа – переоценка проектной ситуации: разработчик пишет предложение, выражающее суть тупика, в который он попал, и ищет синонимы употребленных при этом понятий, которые вызывают новые идеи для решения задачи.

Другой вариант методов этого типа – возврат к основной первичной функциональной потребности, которая должна быть удовлетворена, с целью поиска новых решений, свободных от недостатка ранее выбранного варианта, который привел к тупиковой ситуации. Например, при проектировании туннелей для автотранспорта возникает проблема отвода выхлопных газов, которая может привести в тупик. Однако если вместо решения этой проблемы вернуться к первоначальной задаче туннеля и в ее рамках поискать решение, свободное от этой проблемы, можно, например, предложить транспортировку на платформах [3], работающих, например, на электрических двигателях.

Библиографический список

1. Проектирование средств робототехники: Учеб. пособие / Б.И. Морозов, Л.А. Станкевич, Е.И. Юревич. – Л.: ЛПИ, 1990. – 100 с.
2. Основы построения систем автоматизированного проектирования гибких производств. / Ред. И.М. Макаров. – М.: Высш. шк., 1986. – 175 с.
3. Джонс Дж. К. Методы проектирования: Пер. с англ. – 2-е изд., доп. – М.: Мир, 1986. – 326 с.

Сведения об авторах

ФИО

Власов Е.Н

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

ФИО Андронов А.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail andronovalexandr@gmail.com

ФИО Епифанова Александра Юрьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Сделан обзор основных методов проектирования технических систем в лесном машиностроении.

Ключевые слова: эвристические и алгоритмические методы проектирования, метод мозговой атаки, метод синектики, метод морфологических карт, метод графов зависимостей, методы преодоления тупиковых ситуаций.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

К вопросу анализа мощности привода и энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с 5-ти ступенчатой штатной КПП для рядовых условий пахоты

Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.

Мощность привода, необходимая МТА в пахотном режиме состоит из регулярной составляющей $N_{по}$ затрачиваемой на преодоление регулярных составляющих сил сопротивления движению и переменной $N_{п}(\omega)$, расходуемой на динамические нагрузки.

Были выполнены расчеты для легких (л.у.) и тяжелых (т.у.) условий пахоты. При расчетах для ЛХТ-100 (штатный двигатель СМД-20.Т4) приняты: мощность $N_{ен} = 88,0$ кВт, частота вращения $n_n=1900$ мин⁻¹, удельный эксплуатационный расход топлива $g_э = 0,227$ кг/кВт·ч; $N_o = 0,8N_{ен}$; $n_o = 0,8$ нн; $\eta_m = 0,68$.

Регулярные значения мощности, ее необходимый запас, регулярные значения часового расхода топлива и масла на угар, а также производительности МТА в зависимости от типа КПП приведены в табл. 1.

Таблица 1. Предельные значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 для 5-ти ступенчатой штатной КПП для условий пахоты на вырубке

Варианты КПП	Условия	Номер передачи	$v_{оп}$, м/с	$N_{оп}$, кВт	$\Delta N_{оп}$, кВт	$N_{\Sigma п}$, кВт	$B_{оп}$, кг/ч	$C_{сироп}$, кг/ч	$P_{см}$, га/см
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	1,781	60,45	21,27	81,72	13,299	0,359	3,140
	т.у.	<i>II</i>	0,857	64,14	14,26	78,40	14,111	0,381	1,511

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Были также вычислены частотные характеристики (ЧХ) мощности привода при движении МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 на вырубке с количеством пней до 600 шт/га.

В отличие от динамической составляющей касательной силы в пахотном режиме, функции $F_{п}(\omega)$, имеющей два экстремума, и динамической составляющей мощности в транспортном режиме, функции $N_{т}(\omega)$, имеющей три экстремума, функция мощности в пахотном режиме $N_{п}(\omega)$ имеет один экстремум в низкочастотном, энергозатратном спектре частот (рис. 1). Этот экстремум соответствует собственной (резонансной) частоте колебаний частоты вращения двигателя с приведенной к коленчатому валу массой МТА. Затраты мощности на колебания подрессоренной массы МТА, начиная с $\omega_c = 5,0$ с⁻¹ до $\omega_c = 20$ с⁻¹ и более, асимптотически стремятся к нулю. Объясняется это тем, что трактор, прижимаемый плугом к земле, гасит первую составляющую собственной частоты колебаний подрессоренной массы МТА, а вторая - высокочастотная, отфильтровывается инерционными массами привода [1].

Для МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП в пахотном режиме получен экстремум динамической составляющей мощности $N_{п}(\omega)$:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) при собственной частоте $\omega_c = 2,2$ с⁻¹ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,75 кВт;
- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) при $\omega_c = 2,9$ с⁻¹ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,06 кВт.

Также вычислены фактически необходимая мощность привода с учетом потерь на динамические нагрузки, потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения часового расхода топлива и масла на угар, сменной производительности пахотном режиме при движении МТА на второй и четвертой. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Фактические значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 и различными КПП в рядовых условиях пахоты

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА				
			$N_{\phi}(\omega)$, кВт	N_{ϕ} , кВт	B_{ϕ} , кг/ч	C_{ϕ} , кг/ч	P_{ϕ} , га/см
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	1,46	61,91	14,054	0,379	3,105
	т.у.	<i>II</i>	2,37	66,51	15,098	0,408	1,483

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

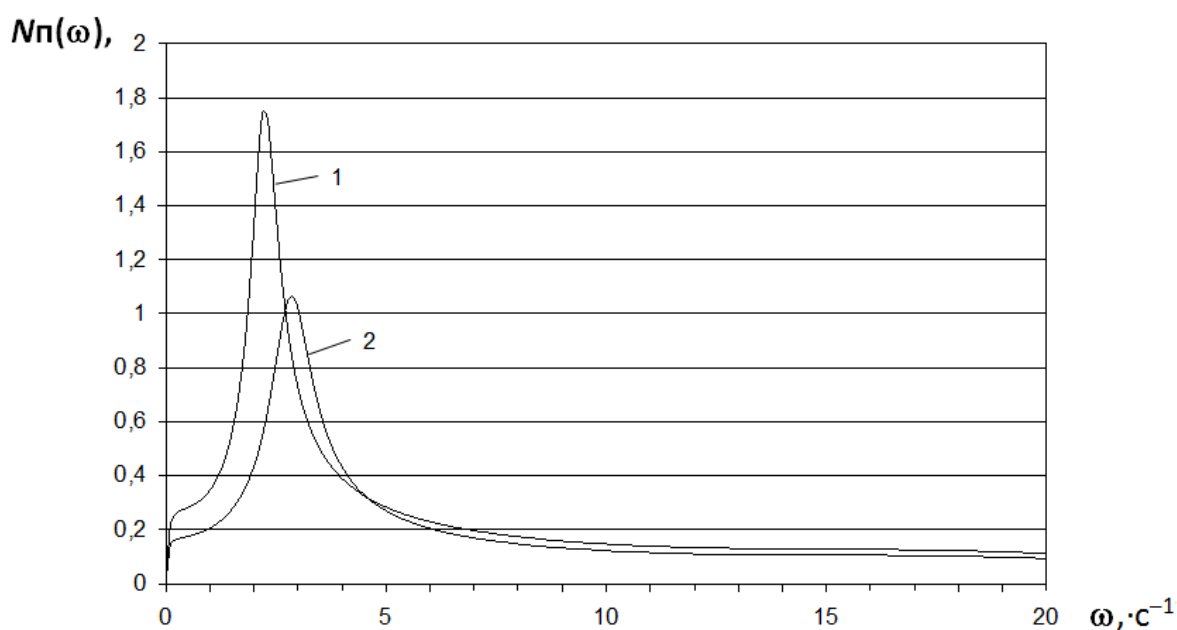


Рис. 1. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Ахматович Е.А., Елифанова А.Ю. Определение эффективно используемой мощности привода трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – №208, – с.54-62.

Сведения об авторах

ФИО

Власов Е.Н

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации университет имени С.М. Кирова
194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

ФИО Елифанова Александра Юрьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен анализ мощности привода и энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с 5-ти ступенчатой штатной КПП с плугом ПКЛ-70-4 для рядовых условий пахоты.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Сравнение энергозатрат МТА в пахотном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам

Власов Е.Н., Елифанова А.Ю.

Для МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП в пахотном режиме получен один [1] экстремум динамической составляющей мощности $N_n(\omega)$:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) при собственной частоте $\omega_c = 2,2 \text{ с}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,75 кВт;
- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) при $\omega_c = 2,9 \text{ с}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,06 кВт.

Также вычислены фактически необходимая мощность привода с учетом потерь на динамические нагрузки, потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения часового расхода топлива и масла на угар, сменной

производительности пахотном режиме при движении МТА на второй и четвертой. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

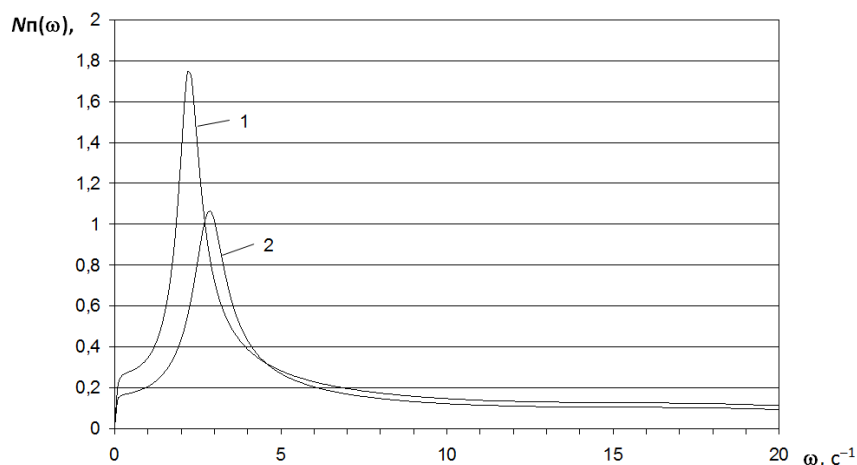


Рис. 1. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

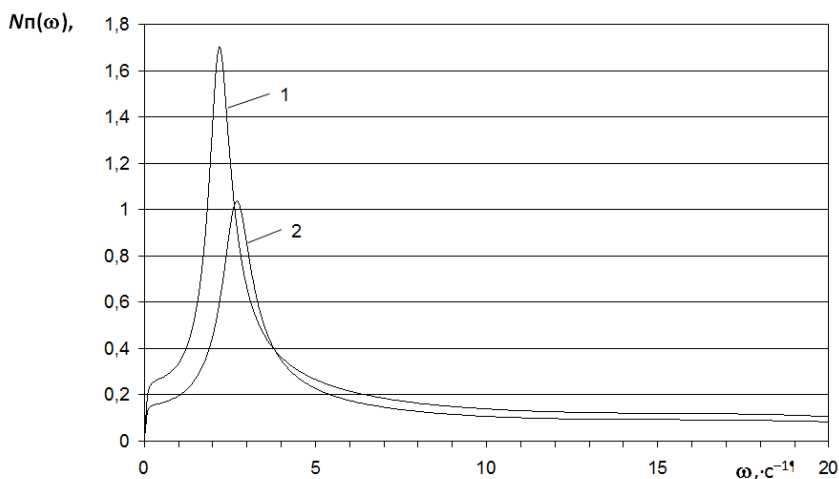


Рис. 2. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения ($\Delta F_0 = 12,98$ кН) по передачам: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Для МТА с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения касательной силы тяги в пахотном режиме имеем экстремум динамической составляющей мощности $N_{п}(\omega)$:

- на второй передаче (рис. 2, кривая 1) при собственной частоте $\omega_c = 2,2$ с⁻¹ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,71 кВт;
- на четвертой передаче (рис. 2, кривая 2) при $\omega_c = 2,7$ с⁻¹ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,04 кВт.

Также вычислены фактически необходимая мощность привода с учетом потерь на динамические нагрузки, потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения часового расхода топлива и масла на угар, сменной

производительности пахотном режиме при движении МТА на второй и четвертой. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Фактические значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 и различными КПП в рядовых условиях пахоты

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА								
			$v(\omega)$, м/с	v_{ϕ} , м/с	$F_{\phi}(\omega)$, кН	F_{ϕ} , кН	$N_{\phi}(\omega)$, кВт	N_{ϕ} , кВт	B_{ϕ} , кг/ч	C_{ϕ} , кг/ч	P_{ϕ} , га/см
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,761	11,70	34,78	1,46	61,91	14,054	0,379	3,105
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,841	8,87	59,76	2,37	66,51	15,098	0,408	1,483
КПП-5 $\Delta F_0=12,98$ кН	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,453	11,23	34,16	1,38	51,05	11,588	0,313	2,562
	т.у.	<i>II</i>	0,015	0,804	8,63	59,50	2,30	63,57	14,430	0,390	1,418

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Из сравнения расчетных значений (табл. 1) МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП, с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения силы тяги ($\Delta F_0=12,98$ кН) по передачам следует:

- на второй передаче затраты мощности на динамические нагрузки снизились с 2,37 до 2,30 кВт, то есть на 3,0%, фактически необходимая мощность снизилась с 66,51 до 63,57 кВт, то есть на 4,4%. Часовой расход топлива снизился с 15,098 до 14,430 кг/ч, также – на 4,4%, расход масла на угар – с 0,408 до 0,390 кг/ч, то есть на 4,4%. Сменная производительность снизилась с 1,483 до 1,418 га/см, то есть на 4,4%. Экономия энергозатрат и масла на угар объясняется снижением скорости движения МТА с 0,841 до 0,804 м/с и незначительным снижением касательной силы тяги с 59,76 до 59,50 кН, то есть на 0,4%. Снижение сменной производительности на 4,4% также объясняется снижением скорости движения МТА;
- на четвертой передаче затраты мощности на динамические нагрузки снизились с 1,46 до 1,38 кВт, то есть на 5,5%. Фактически необходимая мощность снизилась с 61,91 до 51,05 кВт, то есть на 17,5%. Часовой расход топлива снизился с 14,054 до 11,588 кг/ч, то есть на 17,5%, расход масла на угар – с 0,379 до 0,313 кг/ч, то есть на 17,5%. Сменная производительность снизилась с 3,105 до 2,562 га/см, то есть на 17,5%. Экономия энергозатрат и масла на угар объясняется снижением скорости движения с 1,761 до 1,453 м/с, то есть на 17,5%, касательной силы тяги с 34,78 до 34,16 кН, то есть на 1,8%. Снижение сменной производительности также объясняется снижением скорости движения МТА.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Ахматович Е.А., Елифанова А.Ю. Определение эффективно используемой мощности привода трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – №208, – с.54-62.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Елифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнение энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 для рядовых условий пахоты с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Сравнение энергозатрат МТА в пахотном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам

Власов Е.Н., Елифанова А.Ю.

Для МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП в пахотном режиме получен один [1] экстремум динамической составляющей мощности $N_{\text{д}}(\omega)$:

– на второй передаче (рис. 1, кривая 1) при собственной частоте $\omega_c = 2,2 \text{ с}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,75 кВт;

- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) при $\omega_c = 2,9 \text{ с}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,06 кВт.

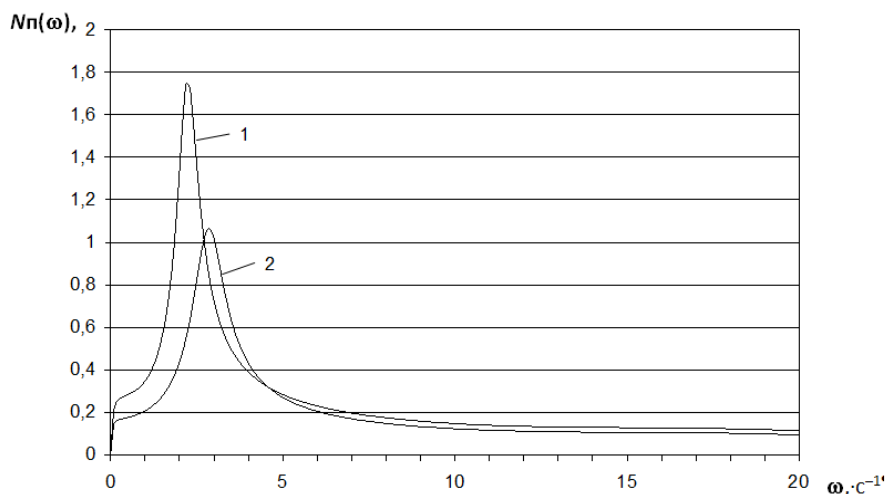


Рис. 1. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

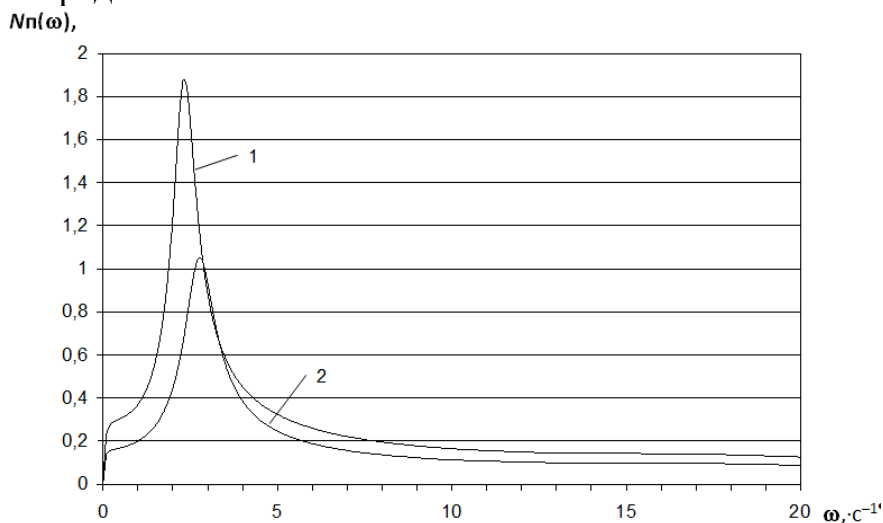


Рис. 2. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения ($\Delta F_0 = 12,98 \text{ кН}$) по передачам: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Также вычислены фактически необходимая мощность привода с учетом потерь на динамические нагрузки, потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения часового расхода топлива и масла на угар, сменной производительности пахотном режиме при движении МТА на второй и четвертой. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Для МТА с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения касательной силы тяги в пахотном режиме имеем экстремум динамической составляющей мощности $N_n(\omega)$:

- на третьей передаче (рис. 2, кривая 1) при собственной частоте $\omega_c = 2,3 \text{ с}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,88 кВт;

- на пятой передаче (рис. 2, кривая 2) при $\omega_c = 2,8 \text{ с}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,05 кВт.

Также вычислены фактически необходимая мощность привода с учетом потерь на динамические нагрузки, потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения часового расхода топлива и масла на угар, сменной производительности пахотном режиме при движении МТА на второй и четвертой. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Из сравнения расчетных значений (табл. 1) МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП, с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения силы тяги ($\Delta F_o = 10,38 \text{ кН}$) по передачам следует:

- на третьей передаче затраты мощности на динамические нагрузки увеличились с 2,37 до 2,54 кВт, то есть на 7,2%, фактически необходимая мощность увеличилась с 66,51 до 73,23 кВт, то есть на 10,1%. Часовой расход топлива увеличился с 15,098 до 16,623 кг/ч, то есть на 10,1%, расход масла на угар – с 0,408 до 0,449 кг/ч, то есть на 10,0%. Сменная производительность увеличилась с 1,483 до 1,636 га/см, то есть на 10,3%. Увеличение энергозатрат (на 10,1%) и масла на угар объясняется увеличением скорости движения МТА с 0,841 до 0,928 м/с, то есть на 10,3%, касательной силы тяги – с 59,76 до 60,32 кН, то есть на 0,9%. Увеличение сменной производительности на 10,3% объясняется увеличением скорости движения МТА (табл. 1);
- на пятой передаче затраты мощности на динамические нагрузки снизились с 1,46 до 1,42 кВт, то есть на 2,7%. Фактически необходимая мощность снизилась с 61,91 до 55,62 кВт, то есть на 10,2%. Часовой расход топлива снизился с 14,054 до 12,626 кг/ч, то есть на 10,2%, расход масла на угар – с 0,379 до 0,341 кг/ч, то есть на 10,0%. Сменная производительность снизилась с 3,105 до 2,791 га/см, то есть на 10,1%. Снижение производительности и энергозатрат объясняется снижением скорости движения МТА с 1,761 до 1,583 м/с, то есть на 10,1% и касательной силы тяги с 34,78 до 34,48 кН, то есть на 0,9%. (табл. 1).

Таблица 1. Фактические значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам в рядовых условиях пахоты

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА								
			$v(\omega)$, м/с	v_{ϕ} , м/с	$F_{\phi}(\omega)$, кН	F_{ϕ} , кН	$N_{\phi}(\omega)$, кВт	N_{ϕ} , кВт	B_{ϕ} , кг/ч	C_{ϕ} , кг/ч	P_{ϕ} , га/см
КПП-5 Штатная	л.у.	IV	0,020	1,761	11,70	34,78	1,46	61,91	14,054	0,379	3,105
	т.у.	II	0,016	0,841	8,87	59,76	2,37	66,51	15,098	0,408	1,483
КПП-6 $\Delta F_0=10,38$ кН	л.у.	V	0,020	1,583	11,49	34,48	1,42	55,62	12,626	0,341	2,791
	т.у.	III	0,016	0,928	9,40	60,32	2,54	73,23	16,623	0,449	1,636

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Ахматович Е.А., Епифанова А.Ю. Определение эффективно используемой мощности привода трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – №208, – с.54-62.

Сведения об авторах

ФИО Власов Е.Н
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

ФИО Епифанова Александра Юрьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнение энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 для рядовых условий пахоты с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

Сравнение энергозатрат МТА в пахотном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и с постоянным передаточным рядом

Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.

Для МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП в пахотном режиме получен один [1] экстремум динамической составляющей мощности $N_n(\omega)$:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) при собственной частоте $\omega_c = 2,2 \text{ с}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,75 кВт;
- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) при $\omega_c = 2,9 \text{ с}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,06 кВт.

Также вычислены фактически необходимая мощность привода с учетом потерь на динамические нагрузки, потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения часового расхода топлива и масла на угар, сменной производительности пахотном режиме при движении МТА на второй и четвертой. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

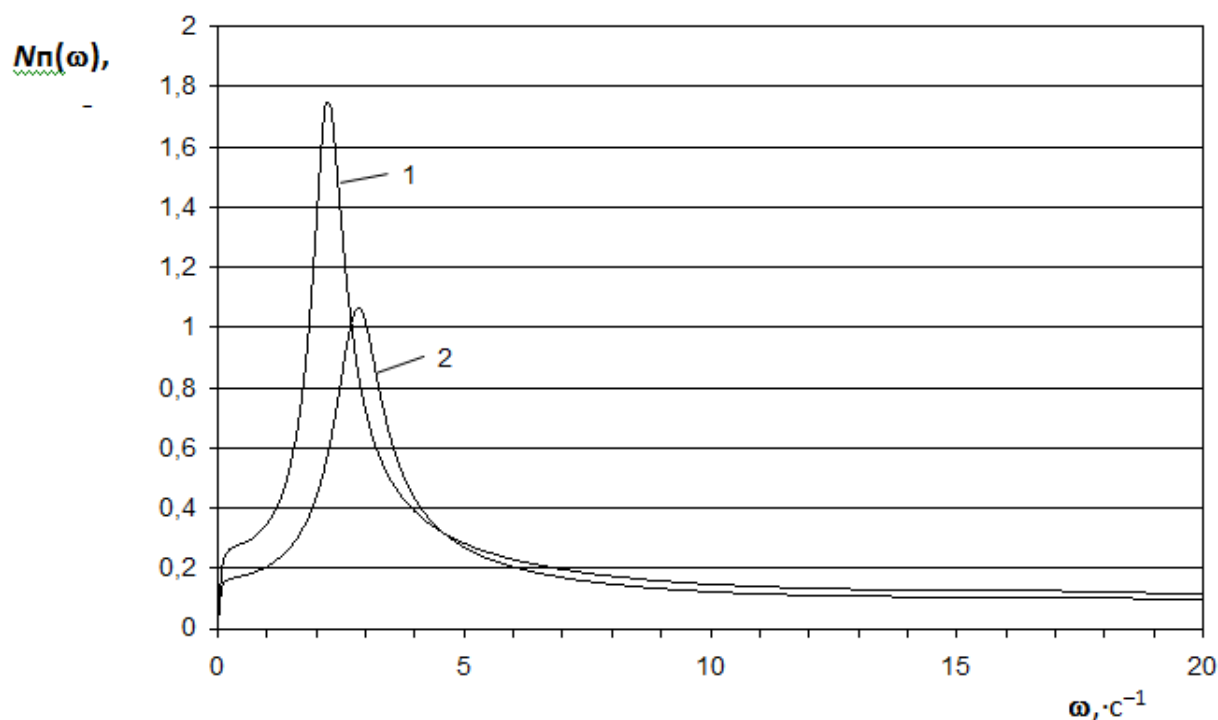


Рис. 1. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

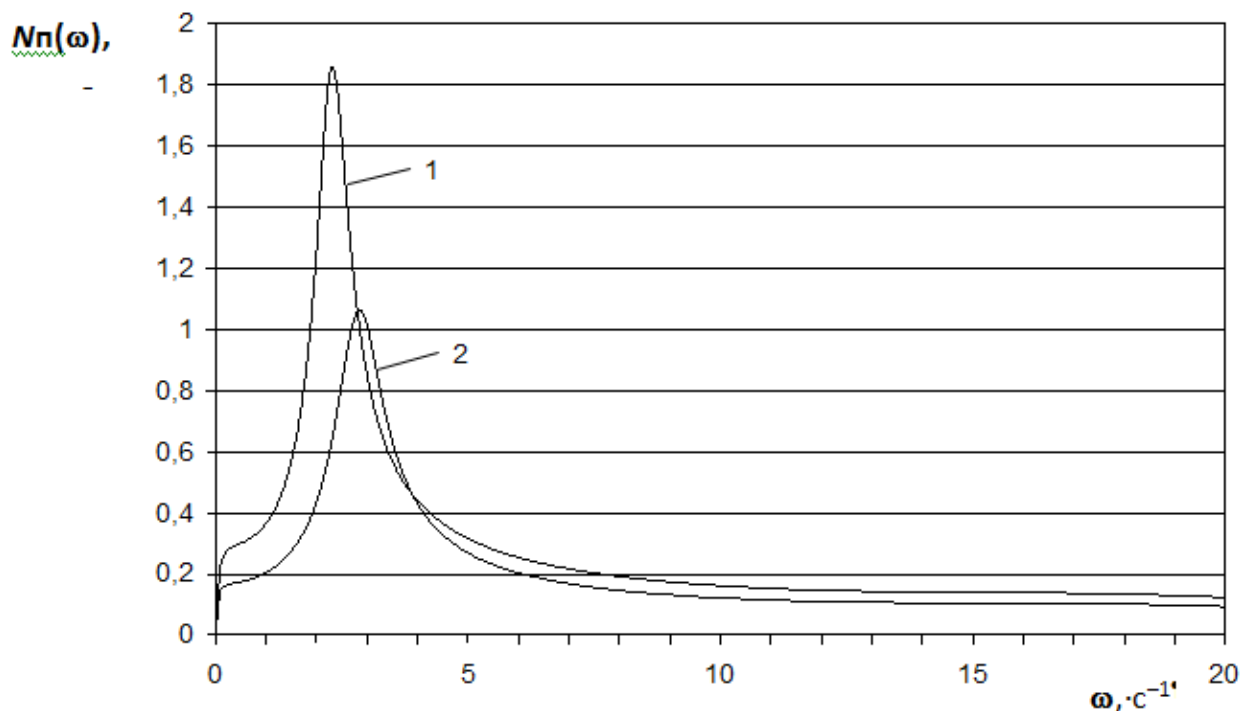


Рис. 2. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр}=1,3832$): 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Таблица 1. Фактические значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и с постоянным передаточным рядом в рядовых условиях пахоты

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА								
			$v(\omega)$, м/с	v_{ϕ} , м/с	$F_{\phi}(\omega)$, кН	F_{ϕ} , кН	$N_{\phi}(\omega)$, кВт	N_{ϕ} , кВт	B_{ϕ} , кг/ч	C_{ϕ} , кг/ч	P_{ϕ} , га/см
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,761	11,70	34,78	1,46	61,91	14,054	0,379	3,105
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,841	8,87	59,76	2,37	66,51	15,098	0,408	1,483
КПП-5 $i_{пр}=1,3832$	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,753	11,70	34,78	1,46	61,64	13,992	0,378	3,091
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,911	9,30	60,21	2,51	71,91	16,324	0,441	1,606

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Из сравнения расчетных значений (табл. 1) МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП, с 5-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр}=1,3832$) следует:

- на второй передаче затраты мощности на динамические нагрузки увеличились с 2,37 до 2,51 кВт, то есть на 5,9%. Фактически необходимая мощность увеличилась с 66,51 до 71,91 кВт, то есть на 8,1%. Часовой

расход топлива увеличился с 15,098 до 16,324 кг/ч, то есть на 8,1%, расход масла на угар – с 0,408 до 0,441 кг/ч, то есть на 8,1%. Сменная производительность увеличилась с 1,483 до 1,606 га/см, то есть на 8,3%. Увеличение сменной производительности произошло за счет увеличения энергозатрат и скорости движения МТА с 0,841 до 0,911 м/с, то есть на 8,3%;

- на четвертой передаче затраты мощности на динамические нагрузки остались без изменений (1,46 кВт). Фактически необходимая мощность незначительно снизилась с 61,91 до 61,64 кВт, то есть на 0,4%. Часовой расход топлива снизился с 14,054 до 13,992 кг/ч, то есть на 0,4%, расход масла на угар – с 0,379 до 0,378 кг/ч, то есть на 0,3%. Сменная производительность снизилась с 3,105 до 3,091 га/см, то есть на 0,5%. Очевидно, при снижении производительности на 0,5% имеется небольшая экономия расходов топлива и масла на угар, снижаются энергозатраты. Достигается это за счет незначительного снижения скорости движения МТА с 1,761 до 1,753 м/с, то есть на 0,5%.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Ахматович Е.А., Епифанова А.Ю. Определение эффективно используемой мощности привода трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – №208, – с.54-62.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнение энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 для рядовых условий пахоты с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и с постоянным передаточным рядом.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Сравнение энергозатрат МТА в пахотном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом

Власов Е.Н., Елифанова А.Ю.

Для МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП в пахотном режиме получен один [1] экстремум динамической составляющей мощности $N_p(\omega)$:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) при собственной частоте $\omega_c = 2,2 \text{ с}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,75 кВт;
- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) при $\omega_c = 2,9 \text{ с}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,06 кВт.

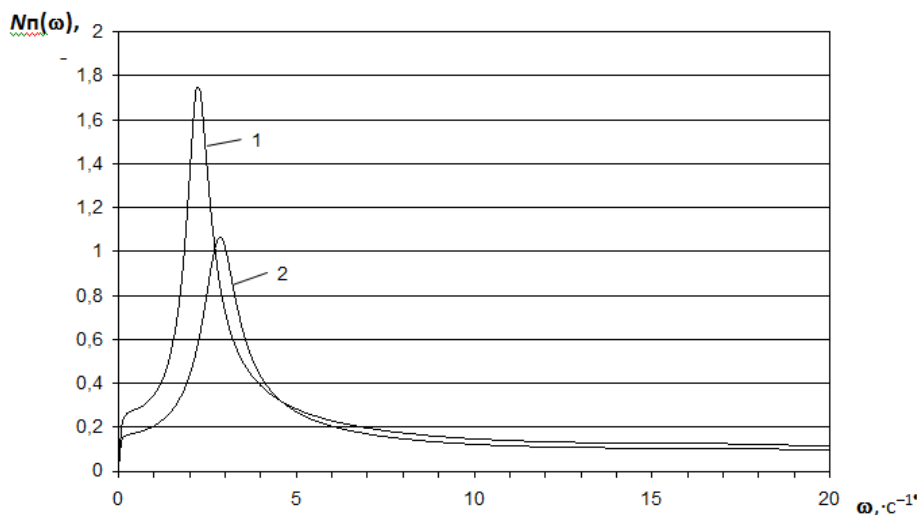


Рис. 1. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Также вычислены фактически необходимая мощность привода с учетом потерь на динамические нагрузки, потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения часового расхода топлива и масла на угар, сменной производительности пахотном режиме при движении МТА на второй и четвертой. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

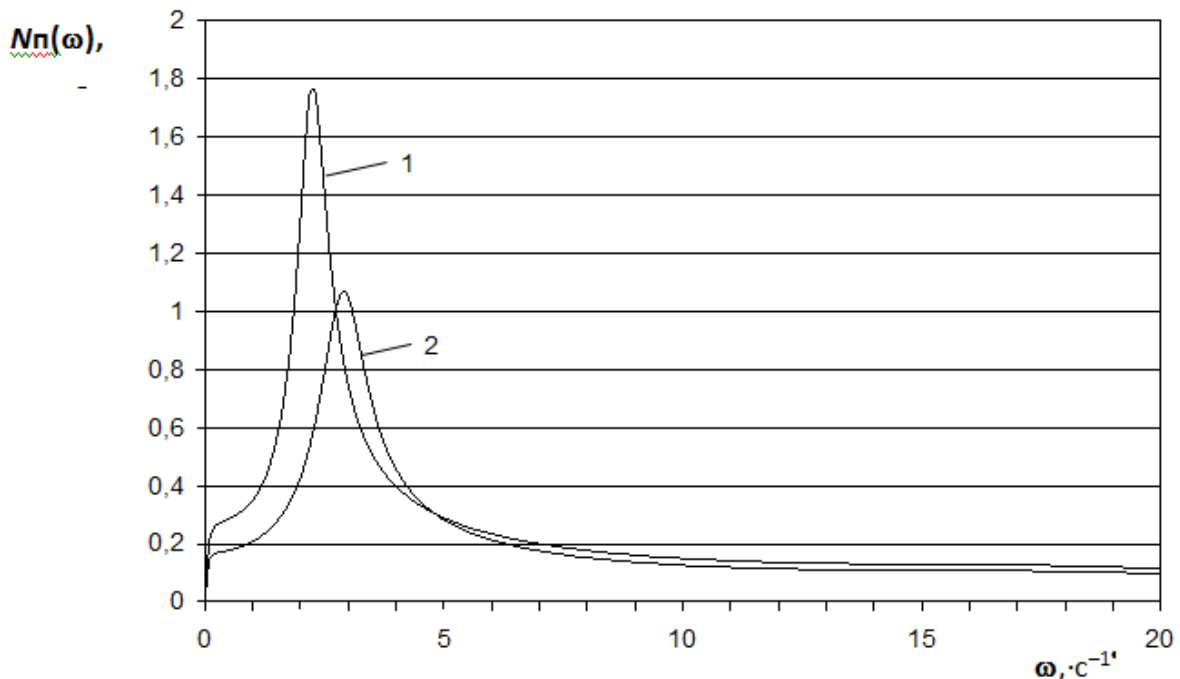


Рис. 2. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в пахотном режиме МТА с 5-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр}=1,3832$): 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Для МТА с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом в пахотном режиме получен экстремум динамической составляющей мощности $N_{п}(\omega)$:

- на второй передаче (рис. 2, кривая 1) при собственной частоте $\omega_c = 2,3 \text{ c}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,76 кВт;
- на пятой передаче (рис. 2, кривая 2) при $\omega_c = 2,9 \text{ c}^{-1}$ максимальные затраты мощности на динамические нагрузки – 1,07 кВт.

Также вычислены фактически необходимая мощность привода с учетом потерь на динамические нагрузки, потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения часового расхода топлива и масла на угар, сменной производительности пахотном режиме при движении МТА на второй и четвертой. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Фактические значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП и с постоянным передаточным рядом в рядовых условиях пахоты

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА									
			$v(\omega)$, м/с	$v_{ф}$, м/с	$F_{ф}(\omega)$, кН	$F_{ф}$, кН	$N_{ф}(\omega)$, кВт	$N_{ф}$, кВт	$B_{ф}$, кг/ч	$C_{ф}$, кг/ч	$P_{ф}$, га/см	

КПП-5 Штатная	л.у.	IV	0,020	1,761	11,70	34,78	1,46	61,91	14,054	0,379	3,105
	т.у.	II	0,016	0,841	8,87	59,76	2,37	66,51	15,098	0,408	1,483
КПП-6 $i_{пр}=1,2963$	л.у.	V	0,021	1,871	11,78	34,93	1,48	65,89	14,957	0,404	3,299
	т.у.	II	0,016	0,853	8,95	59,84	2,40	67,43	15,307	0,413	1,504

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Из сравнения расчетных значений (табл. 1) МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП, с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр}=1,2963$) следует:

- на второй передаче затраты мощности на динамические нагрузки увеличились с 2,37 до 2,40 кВт, то есть на 1,3%. Фактически необходимая мощность увеличилась с 66,51 до 67,43 кВт, то есть на 1,4%. Часовой расход топлива увеличился с 15,098 до 15,307 кг/ч, то есть на 1,4%, расход масла на угар – с 0,408 до 0,413 кг/ч, то есть на 1,2%. Сменная производительность за счет увеличения скорости движения МТА повысилась с 1,483 до 1,504 га/см, то есть на 1,4%;
- на пятой передаче затраты мощности на динамические нагрузки увеличились с 1,46 до 1,48 кВт, то есть на 1,4%. Фактически необходимая мощность увеличилась с 61,91 до 65,89 кВт, то есть на 6,4%. Часовой расход топлива увеличился с 14,054 до 14,957 кг/ч, то есть на 6,4%, расход масла на угар – с 0,379 до 0,404 кг/ч, то есть на 6,6%. Сменная производительность за счет увеличения скорости движения МТА повысилась с 3,105 до 3,299 га/см, то есть на 6,3%.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Ахматович Е.А., Епифанова А.Ю. Определение эффективно используемой мощности привода трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – №208, – с.54-62.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код отсутствует
e-mail sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнение энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 для рядовых условий пахоты с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

К вопросу анализа мощности привода и энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с 5-ти ступенчатой штатной КПП в транспортном режиме

Власов Е.Н., Андронов А.В., Епифанова А.Ю.

Мощность привода, необходимая при движении машинно-транспортного агрегата (МТА) в транспортном режиме состоит из регулярной (средней) величины $N_{то}$, затрачиваемой на поддержание заданного скоростного режима и переменной $N_T(\omega)$, расходуемой на динамические нагрузки от колебаний подрессоренной массы МТА, действия сил инерции и др.

Были вычислены частотные характеристики (ЧХ) мощности привода при движении МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 на вырубке с количеством пней до 600 шт/га и с различными КПП.

В транспортном режиме ЧХ мощности $N_T(\omega)$ МТА с различными типами КПП, как показали расчеты, имеет три экстремума [1]. Первый экстремум соответствует собственной (резонансной) частоте колебаний частоты вращения двигателя с приведенной к коленчатому валу массой МТА. Второй и третий экстремумы соответствуют собственным частотам колебаний подрессоренной массы МТА в продольно-вертикальной плоскости, величина которых зависит от жесткости подвеса, частоты и амплитуды входного возмущающего воздействия.

В транспортном режиме $N_T(\omega)$ МТА с штатной КПП имеет следующие экстремумы:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,2; 8,8; 17,8 \text{ с}^{-1}$, максимальные затраты мощности при этих частотах соответственно равны: 1,12; 0,29; 0,23 кВт;
- на четвертой передаче (рис.1, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 8,8; 17,8 \text{ с}^{-1}$, максимальные затраты мощности при этих частотах соответственно равны: 0,92; 0,28; 0,21 кВт.

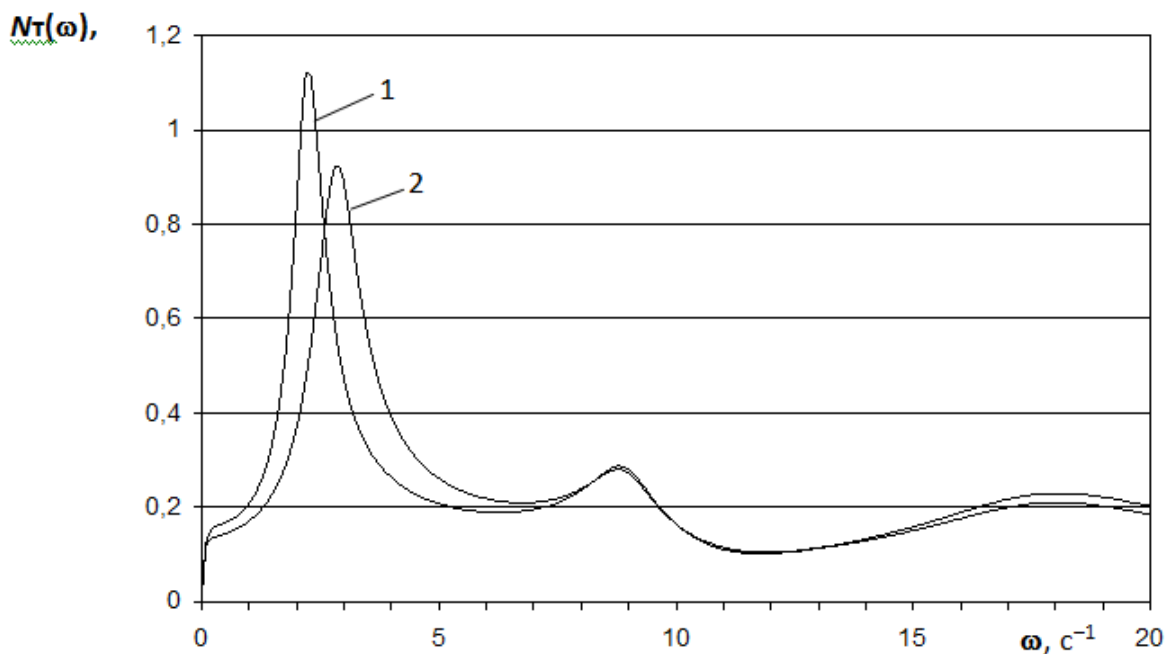


Рис. 1. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в транспортном режиме МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП: 1 – вторая передача; 2 – четвертая передача

Очевидно (рис. 1), величина затрачиваемой мощности на второй передаче при первой собственной частоте существенно больше, чем на четвертой. Объясняется это тем, что оператор дифференцирования и передаточные функции частоты вращения, входящие в выражения передаточных функций мощности, представлены во второй степени, а следовательно, произведением постоянных времени МТА, куда входит передаточное число трансмиссии. Все это способствует снижению собственной частоты и увеличению затрачиваемой мощности при динамических режимах нагружения.

Были также вычислены потери мощности на динамические нагрузки в транспортном режиме при движении МТА на второй и четвертой передачах.

Фактически необходимая мощность привода с учетом потерь на динамические нагрузки определится как сумма $N_{тф} = N_{то} + N_T(\omega)$.

Кроме того, были вычислены фактические значения мощности, часового расхода топлива и масла на угар. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Фактические значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 с 5-ти ступенчатой штатной КПП в транспортном режиме

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА			
			$N_{\phi}(\omega)$, кВт	N_{ϕ} , кВт	B_{ϕ} , кг/ч	C_{ϕ} , кг/ч
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	1,46	61,91	14,054	0,379
	т.у.	<i>II</i>	2,37	66,51	15,098	0,408

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Ахматович Е.А., Епифанова А.Ю. Определение эффективно используемой мощности привода трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2014. – №208, – с.54-62.

Сведения об авторах

- ФИО** Власов Е.Н
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru
- ФИО** Андронов Александр Вячеславович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail andronovalexandr@gmail.com
- ФИО** Епифанова Александра Юрьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен анализ мощности привода и энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с 5-ти ступенчатой штатной КПП с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, мощность привода, динамические режимы нагружения, частотные характеристики, колебания подрессоренной массы МТА.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Сравнение энергозатрат МТА в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам

Власов Е.Н., Елифанова А.Ю.

В транспортном режиме величина затрачиваемой мощности $N_T(\omega)$ машинно-тракторного агрегата (МТА) с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения касательной силы по передачам имеет следующие три [1] экстремума:

- на третьей передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,3; 8,8; 18,1 \text{ с}^{-1}$, максимальные затраты мощности при этих частотах соответственно равны: 1,20; 0,32; 0,26 кВт;
- на пятой передаче (рис. 1, кривая 2) $\omega_c = 2,8; 8,8; 18,1 \text{ с}^{-1}$, максимальные затраты мощности соответственно равны: 0,92; 0,26; 0,20 кВт.

Величина затрачиваемой мощности на третьей передаче при первой собственной частоте больше, чем на пятой. Объясняется это тем, что оператор дифференцирования и передаточные функции частоты вращения, входящие в выражения передаточных функций мощности, представлены во второй степени, следовательно, произведением постоянных времени МТА, куда входит передаточное число трансмиссии. Все это способствует снижению собственной частоты и увеличению затрачиваемой мощности при динамических режимах нагружения.

Были вычислены потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения затрачиваемой мощности, часового расхода топлива и масла на угар. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения силы тяги $\Delta F_o = 10,38 \text{ кН}$ по передачам

№	$v_{тф}$,	$F_T(\omega)$,	$F_{тф}$,	$N_T(\omega)$,	$N_{стф}$,	$B_{тф}$,	$C_{тф}$,
---	------------	-----------------	------------	-----------------	-------------	------------	------------

передачи	м/с	кН	кН	кВт	кВт	кг/ч	кг/ч
<i>V</i>	1,583	11,94	26,11	1,60	60,78	13,80	0,373
<i>III</i>	0,928	10,67	35,53	2,25	48,49	11,01	0,297

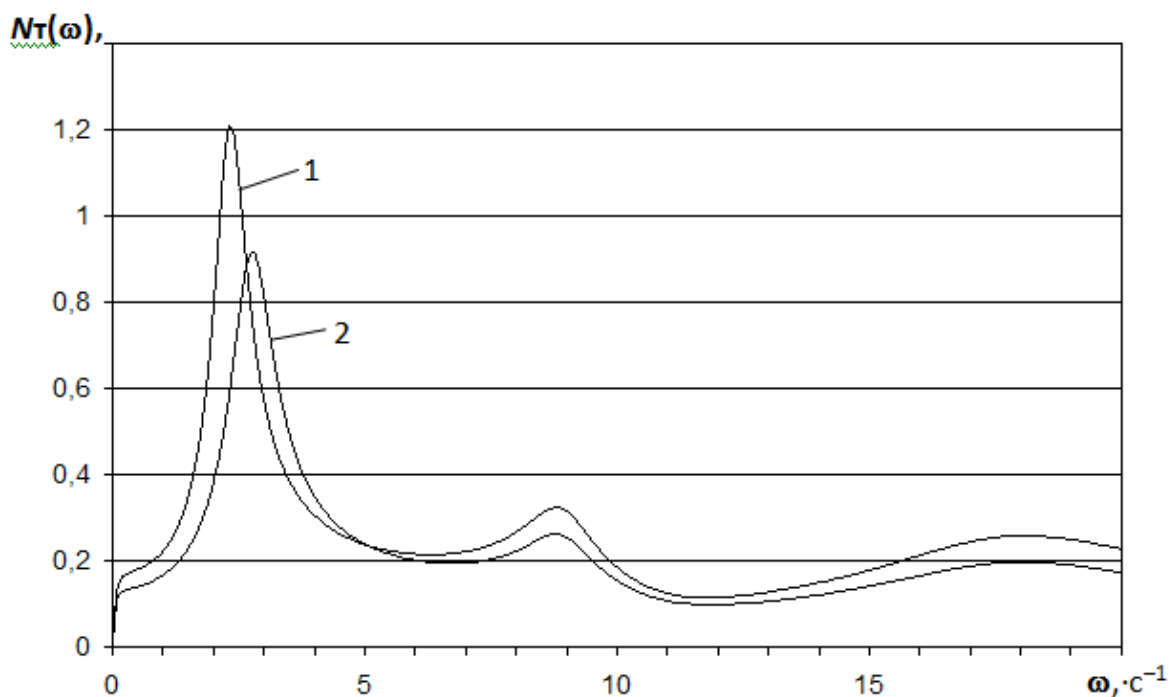


Рис. 1. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в транспортном режиме МТА с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения ($\Delta F_0 = 10,38$ кН) по передачам: 1 – третья передача; 2 – пятая передача

Таблица 2. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 5-ти ступенчатой штатной КПП

№ передачи	$v_{тф}$, м/с	$F_T(\omega)$, кН	$F_{тф}$, кН	$N_T(\omega)$, кВт	$N_{стф}$, кВт	$B_{тф}$, кг/ч	$C_{тф}$, кг/ч
<i>V</i>	1,761	12,15	26,32	1,64	68,16	15,47	0,418
<i>III</i>	0,841	10,20	35,06	2,10	43,36	9,84	0,266

Из сравнения расчетных значений МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП (табл. 2.) и с 6-ти ступенчатой КПП, с равной величиной приращения силы тяги ($\Delta F_0 = 10,38$ кН) по передачам (табл. 1) следует:

- на третьей передаче затраты мощности на динамические нагрузки увеличились с 2,10 до 2,25 кВт, то есть на 7,1%. Фактически необходимая мощность увеличилась с 43,36 до 48,49 кВт, то есть на 11,8%. Часовой расход топлива увеличился с 9,84 до 11,01 кг/ч, то есть на 11,9%, расход масла на угар – с 0,266 до 0,297 кг/ч, то есть на 11,7%. Увеличение затрачиваемой мощности, а следовательно, часового расхода топлива и

масла на угар объясняется увеличением скорости движения МТА с 0,841 до 0,928 м/с, касательной силы тяги – с 35,06 до 35,53 кН (табл. 1, 2);

- на пятой передаче затраты мощности на динамические нагрузки снизились с 1,64 до 1,60 кВт, то есть на 2,4%. Фактически необходимая мощность снизилась с 68,16 до 60,78 кВт, то есть на 10,8%. Соответственно, снизились фактический часовой расход топлива с 15,47 до 13,80 кг/ч, то есть на 10,8%, масла на угар – с 0,418 до 0,373 кг/ч, то есть на 10,8%. Объясняется это снижением скорости движения с 1,761 до 1,583 м/с и незначительным снижением касательной силы тяги с 26,32 до 26,11 кН (табл. 1, 2).

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Михайлов О.А., Дурманов М.Я., Епифанова А.Ю. Затраты энергии на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в транспортном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. №212, с.104-112.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнение энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения по передачам.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Сравнение энергозатрат МТА в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом

Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.

В транспортном режиме величина затрачиваемой мощности $N_T(\omega)$ МТА с 5-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом имеет следующие три [1] экстремума:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,3; 8,8; 17,9 \text{ с}^{-1}$. Максимальные затраты мощности при этих частотах, соответственно равны: 1,20; 0,32; 0,25 кВт;
- на четвертой передаче (рис. 1, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 8,8; 17,9 \text{ с}^{-1}$, с максимальными затратами мощности – 0,92; 0,28; 0,21 кВт, соответственно.

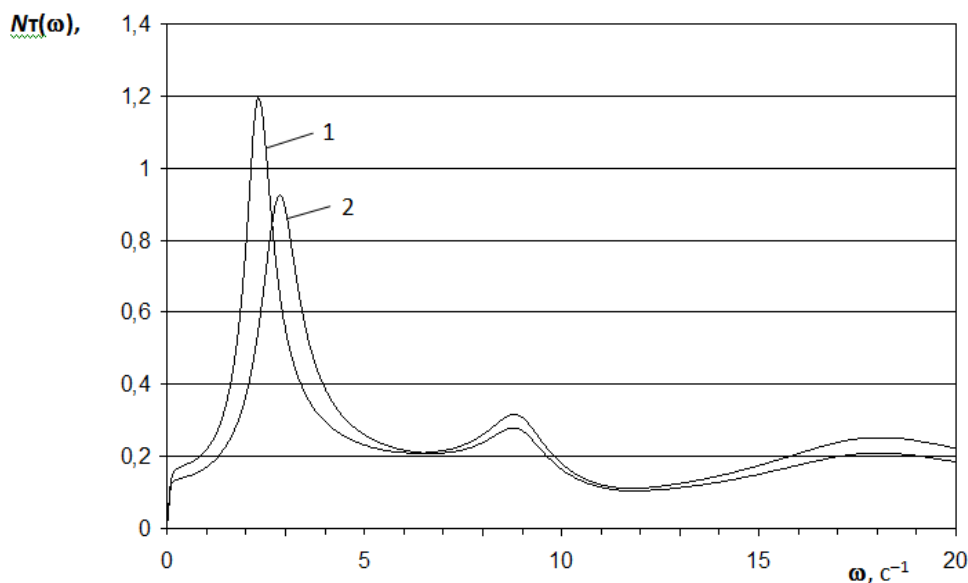


Рис. 1. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в транспортном режиме МТА с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения ($\Delta F_0 = 10,38 \text{ кН}$) по передачам: 1 – третья передача; 2 – пятая передача

Величина затрачиваемой мощности на второй передаче при первой собственной частоте больше, чем на четвертой. Объясняется это тем, что оператор дифференцирования и передаточные функции частоты вращения, входящие в выражения передаточных функций мощности, представлены во второй степени, следовательно, произведением постоянных времени МТА, куда входит передаточное число трансмиссии.

Были вычислены потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения затрачиваемой мощности, часового расхода топлива и масла на угар. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 5-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр}=1,3832$)

№ передачи	$v_{тф}$, м/с	$F_T(\omega)$, кН	$F_{тф}$, кН	$N_T(\omega)$, кВт	$N_{етф}$, кВт	$B_{тф}$, кг/ч	$C_{тф}$, кг/ч
<i>V</i>	1,753	12,14	26,31	1,64	67,83	15,40	0,416
<i>II</i>	0,911	10,58	35,44	2,22	47,48	10,78	0,291

Таблица 2. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 5-ти ступенчатой штатной КПП

№ передачи	$v_{тф}$, м/с	$F_T(\omega)$, кН	$F_{тф}$, кН	$N_T(\omega)$, кВт	$N_{етф}$, кВт	$B_{тф}$, кг/ч	$C_{тф}$, кг/ч
<i>V</i>	1,761	12,15	26,32	1,64	68,16	15,47	0,418
<i>II</i>	0,841	10,20	35,06	2,10	43,36	9,84	0,266

Из сравнения расчетных значений МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП (табл. 2) и с 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,3832$) (табл. 1) следует:

- на второй передаче затраты мощности на динамические нагрузки увеличились с 2,10 до 2,22 кВт, то есть на 5,7%. Фактически необходимая мощность увеличилась с 43,36 до 47,48 кВт, то есть на 9,5%. Часовой расход топлива – с 9,84 до 10,78 кг/ч, то есть на 9,6%, масла на угар – с 0,266 до 0,291 кг/ч, то есть на 9,4%. Увеличение затрачиваемой мощности, часового расхода топлива и масла на угар объясняется увеличением скорости движения МТА с 0,841 до 0,911 м/с и касательной силы тяги – с 35,06 до 35,44 кН (табл. 1, 2);
- на четвертой передаче затраты мощности на динамические нагрузки остались без изменений (1,64 кВт). Фактическая мощность снизилась с 68,16 до 67,83 кВт, то есть на 0,5%, часовой расход топлива снизился с 15,47 до 15,40 кг/ч, то есть на 0,5%, расход масла на угар – с 0,418 до 0,416 кг/ч, то есть на 0,5%. Объясняется это снижением скорости движения с 1,761 до 1,753 м/с и незначительным снижением касательной силы тяги с 26,32 до 26,31 кН (табл. 1, 2).

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Михайлов О.А., Дурманов М.Я., Епифанова А.Ю. Затраты энергии на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в транспортном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. №212, с.104-112.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнение энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Сравнение энергозатрат МТА в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом

Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.

В транспортном режиме величина затрачиваемой мощности $N_T(\omega)$ МТА с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом имеет следующие экстремумы [1]:

- на второй передаче (рис. 1, кривая 1) собственные частоты $\omega_c = 2,3; 8,8; 17,9 \text{ с}^{-1}$. Максимальные затраты мощности при этих частотах, соответственно равны: 1,13; 0,29; 0,23 кВт;
- на пятой передаче (рис. 1, кривая 2) $\omega_c = 2,9; 8,8; 17,9 \text{ с}^{-1}$, максимальные затраты мощности – 0,93; 0,29; 0,22 кВт, соответственно.

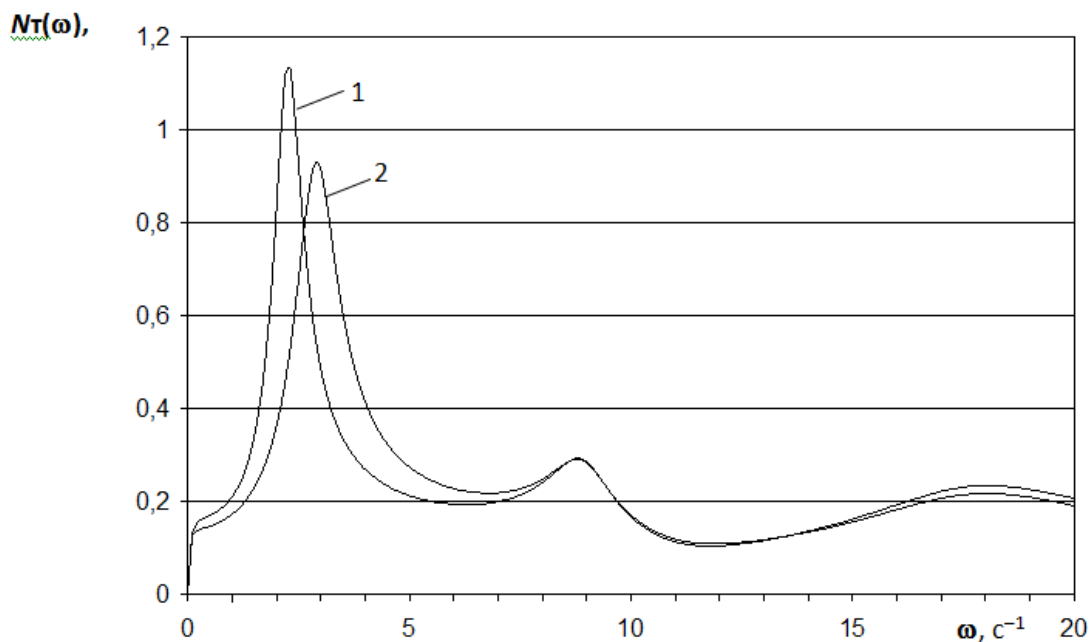


Рис. 1. ЧХ мощности, затрачиваемой на динамические нагрузки в транспортном режиме МТА с 6-ти ступенчатой КПП и равной величиной приращения ($\Delta F_o = 10,38 \text{ кН}$) по передачам: 1 – третья передача; 2 – пятая передача

Величина затрачиваемой мощности на второй передаче при первой собственной частоте больше, чем на четвертой. Объясняется это тем, что оператор дифференцирования и передаточные функции частоты вращения, входящие в выражения передаточных функций мощности, представлены во второй степени, и, следовательно, произведением постоянных времени МТА, куда входит передаточное число трансмиссии.

Были вычислены потери мощности на динамические нагрузки, фактические значения затрачиваемой мощности, часового расхода топлива и масла на угар. Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Таблица 1. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 6-ти ступенчатой КПП и постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,2963$)

№ передачи	$v_{тф}, \text{ м/с}$	$F_T(\omega), \text{ кН}$	$F_{тф}, \text{ кН}$	$N_T(\omega), \text{ кВт}$	$N_{стф}, \text{ кВт}$	$B_{тф}, \text{ кг/ч}$	$C_{тф}, \text{ кг/ч}$
<i>V</i>	1,871	12,21	26,38	1,66	72,58	16,48	0,445
<i>II</i>	0,853	10,26	35,12	2,12	44,05	10,00	0,270

Таблица 2. Показатели МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с 5-ти ступенчатой штатной КПП

№ передачи	$v_{тф}$, м/с	$F_T(\omega)$, кН	$F_{тф}$, кН	$N_T(\omega)$, кВт	$N_{етф}$, кВт	$B_{тф}$, кг/ч	$C_{тф}$, кг/ч
IV	1,761	12,15	26,32	1,64	68,16	15,47	0,418
II	0,841	10,20	35,06	2,10	43,36	9,84	0,266

Из сравнения расчетных значений МТА с 5-ти ступенчатой штатной КПП (табл. 2) и с 6-ти ступенчатой КПП, с постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,2963$) (табл. 1) следует:

- на второй передаче затраты мощности на динамические нагрузки увеличились с 2,10 до 2,12 кВт, то есть на 1,0%. Фактически необходимая мощность увеличилась с 43,36 до 44,05 кВт, то есть на 1,6%. Часовой расход топлива – с 9,84 до 10,00 кг/ч, то есть на 1,6%, расход масла на угар – с 0,266 до 0,270 кг/ч, то есть на 1,5%. Увеличение затрачиваемой мощности, часового расхода топлива и масла на угар объясняется увеличением скорости движения МТА с 0,841 до 0,853 м/с, то есть на 1,4%, касательной силы тяги – с 35,06 до 35,12 кН, то есть 0,2% (табл. 1, 2);
- на пятой передаче затраты мощности на динамические нагрузки увеличились с 1,64 до 1,66 кВт, то есть на 1,2%. Фактически необходимая мощность увеличилась с 68,16 до 72,58 кВт, то есть на 6,5%, часовой расход топлива увеличился с 15,47 до 16,48 кг/ч, то есть на 6,5%, расход масла на угар – с 0,418 до 0,445 кг/ч, то есть на 6,5%. Объясняется это увеличением скорости движения МТА с 1,761 до 1,871 м/с, то есть на 6,2%, и касательной силы тяги – с 26,32 до 26,38 кН, то есть на 0,2%. Очевидно, увеличение энергозатрат произошло, в основном, за счет увеличения скорости движения МТА (табл. 1, 2).

Таким образом, из всех рассмотренных типов КПП МТА при движении в транспортном режиме менее энергозатратной является 5-ти ступенчатая КПП с равной величиной приращения касательной силы тяги ($\Delta F_o = 12,98$ кН) по передачам. МТА с такой же КПП является и самым тихоходным в сравнении с остальными типами КПП.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Михайлов О.А., Дурманов М.Я., Елифанова А.Ю. Затраты энергии на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в транспортном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2015. №212, с.104-112.

Сведения об авторах

ФИО Власов Е.Н
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

ФИО Епифанова Александра Юрьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнение энергозатрат МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме с штатной 5-ти ступенчатой КПП и с 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

К вопросу о показателях эффективности использования машинно-тракторных агрегатов

Власов Е.Н., Сергеевичев А.В., Епифанова А.Ю.

Эффективность использования лесопромышленных и сельскохозяйственных машинно-тракторных агрегатов (МТА) обычно оцениваются по количеству израсходованных топлива и масла на угар на единицу произведенной продукции, т.е. по расходу топлива и масла на угар на кубометр стрелованной древесины ($\text{кг}/\text{м}^3$) в лесном хозяйстве, и соответственно, в сельском хозяйстве – на гектар обработанной почвы ($\text{кг}/\text{га}$).

Для оценки технического уровня сельскохозяйственных тракторов, в качестве одного из критериев установлен показатель удельной конструкционной массы (УдКМ), представляющий собой отношение массы

трактора в комплектации с основным оборудованием к эксплуатационной мощности двигателя. В этом критерии масса определяет тяговое усилие, а мощность – скорость (с учетом типа ходовой системы) [1]. Более объективным критерием МТА является отношение УдКМ к ширине захвата рабочего органа [2]. Но в каждом из этих критериев не учитывается какой-либо из таких показателей как фактические значения затрачиваемой мощности, расхода топлива и масла на угар, скорость изнашивания пар трения, производительность при выполнении технологических операций. Очевидно, что необходимы другие критерии оценки энергозатрат и эффективности функционирования как сельскохозяйственных, так и лесохозяйственных МТА. Это могут быть удельные технико-экономические показатели, представляющие собой отношение часового расхода топлива, масла на угар, скорости изнашивания пар трения энергосиловой установки к затрачиваемой мощности в транспортном режиме и производительности в пахотном режиме, например,

– удельный технико-экономический критерий по расходу топлива q_T

$$q_T = \frac{B}{N \cdot \Pi}, \text{ кг/кВт} \cdot \text{га}(\text{м}^3);$$

– удельный технико-экономический критерий по расходу масла на угар q_M

$$q_M = \frac{C_{cir}}{N \cdot \Pi}, \text{ кг/кВт} \cdot \text{га}(\text{м}^3);$$

– удельный технико-экономический критерий по скорости изнашивания пар трения энергосиловой установки q_{U_v}

$$q_{U_v} = \frac{U_v}{N \cdot \Pi}, \text{ мкм}^3/\text{кВт} \cdot \text{га}(\text{м}^3),$$

где B , C_{cir} – часовой расход топлива и масла на угар, соответственно, кг/ч; N – мощность затрачиваемая, кВт; Π – производительность МТА, га/ч или ($\text{м}^3/\text{ч}$); U_v – скорость объемного изнашивания пар трения энергосиловой установки, $\text{мкм}^3/\text{ч}$.

В этих выражениях очевидно, что чем меньше числитель и больше знаменатель, тем совершенней МТА и эффективней его функционирование. На эффективность МТА также влияют и другие факторы: состояние окружающей среды; характер выполняемых технологических операций; колебания нагрузки на ведущих колесах (звездочках – для гусеничного движителя); переключение передач и изменения положения органа, устанавливающего скоростной режим.

Изменение положения органа, устанавливающего заданный скоростной режим и колебания сил сопротивления на ведущих колесах можно рассматривать как входные воздействия. Выходными технико-экономическими критериями будут: скорость движения МТА; касательная сила тяги; расходы топлива и масла на угар; скорость изнашивания пар трения энергосиловой установки.

При практическом рассмотрении задач, связанных с изучением эффективности энергозатрат МТА, наиболее существенными причинами, вызывающими неустановившийся режим, являются:

- изменения во времени сил сопротивления, состоящих из сил сопротивления движению трактора, плуга и неровностей пашни – возмущающее воздействие;
- изменения во времени положения органа, устанавливающего заданный скоростной режим (величину цикловой подачи топлива) – управляющее воздействие.

Принятое разделение входов и выходов чисто условное, поскольку ведущие колеса (звездочки) являются входными для сил сопротивления движению и выходными для касательной силы тяги и частоты вращения ведущих колес.

Очевидно, касательная сила тяги представляет собой реакцию на изменения сил сопротивления движению МТА, зависящую от установки органа, задающего величину цикловой подачи топлива, скорости движения МТА и характеристик пашни [3]. Часовой расход топлива зависит от нагрузочного и скоростного режимов МТА, а также от установки органа [4]. Расход масла на угар зависит от нагрузочного и скоростного режимов МТА (величины эффективного крутящего момента, характера и величины изменения давления масла в главной масляной магистрали двигателя [5, 6]. Скорость объемного изнашивания энергосиловой установки зависит от состояния пар трения, сил трения и относительной скорости скольжения пар трения [7].

В итоге МТА можно представить, как объект, имеющий два входных воздействия и шесть выходных показателей, определяющих тягово-скоростные качества, энергозатраты и ресурс энергосиловой установки.

Для оценки эффективности энергозатрат МТА и ресурса энергосиловой установки необходимо определить взаимосвязи между этими параметрами. Поставленная задача может быть решена аналитическими или машинными методами вычисления выходных и входных показателей.

Библиографический список

1. Парфёнов А. П., Ротенберг В. А. К методике прогнозирования показателей удельной материалоемкости тракторов.– М.: Тракторы и сельхозмашины, 1978, №9.– С. 6-9.
2. Кутьков Г. М., Парфёнов А. П. Удельная конструкционная масса сельскохозяйственного трактора как показатель его технического уровня.– М.: Тракторы и сельхозмашины, 1987, №2.– С. 12-15.
3. Болтинский В. Н. Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке.– М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1949.– 214 с.
4. Ленин И. М., Попык К. Г., Малашкин О. М. и др. Автомобильные и тракторные двигатели.– М.: Высшая школа, 1969.– 656 с.
5. Яхин З. А. Исследование и гидродинамический расчет циркуляционных систем смазки быстроходных дизелей: дис. ... канд. техн. наук.– Л.: ЦНИДИ, 1978.– 190 с.
6. Антипин В. П. Факторы, определяющие расход масла на угар при работе двигателя в неустановившемся режиме.– Л.: Двигателестроение, 1986, №5.– С. 12-13.
7. Проников А.С. Надежность машин.– М.: Машиностроение, 1978.– 592 с.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	910sav@gmail.com
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Приведены действующие оценки технического уровня сельскохозяйственных и лесохозяйственных тракторов и МТА. Однако в них не учитывается какой-либо из таких показателей, как фактические значения затрачиваемой мощности, расхода топлива и масла на угар, скорость изнашивания пар трения, производительность при выполнении технологических операций. Предложены более эффективные показатели качества МТА, учитывающие перечисленные выше факторы.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, производительность при выполнении технологических операций.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Показатели машинно-тракторного агрегата на базе трактора ЛХТ-100 с 5-ти ступенчатой коробкой передач в штатной комплектации

Власов Е.Н., Епифанова А.Ю., Сергеевичев А.В.

Идеальной тягово-скоростной характеристикой машинно-тракторного агрегата (МТА) принято считать характеристику [1], при которой произведение касательной силы тяги на скорость его движения есть величина постоянная:

$$F_{\text{ко}} \cdot v_o = N_o \cdot \eta_m = \text{const}, \quad (1)$$

где $N_o = (0,6 \dots 0,8)N_{\text{ен}}$; η_m – механический КПД, $\eta_m = \eta_{\text{тр}}\eta_{\text{дж}}$; $\eta_{\text{тр}}$, $\eta_{\text{дж}}$ – КПД трансмиссии и движителя, соответственно.

Выразим скорость движения v_o через регулярную частоту вращения коленчатого вала двигателя n_o

$$v_o = \frac{\pi R n_o}{30 i_m}, \quad (2)$$

Исходя из условия (1) и технического задания, вычислены касательная сила тяги и по (2) скорость движения МТА с штатным рядом передаточных чисел трансмиссии. Результаты расчетов приведены в табл. 1 и построены графики распределения передаточных чисел и касательной силы тяги в зависимости от номера передачи (рис. 1). При расчетах для ЛХТ-100 (штатный двигатель СМД-20.Т4) приняты: мощность $N_{\text{ен}} = 88,0$ кВт, частота вращения $n_{\text{н}} = 1900$ мин⁻¹, удельный эксплуатационный расход топлива $g_3 = 0,227$ кг/кВт·ч; $N_o = 0,8N_{\text{ен}}$; $n_o = 0,8n_{\text{н}}$; $\eta_m = 0,68$.

О том, насколько равномерно по передачам распределены приращения касательной силы тяги, скорости движения и, как частный случай, мощности МТА, проще оценить по их разности между ближайшими передачами. Результаты расчетов приведены в табл. 2.

Таблица 1. Касательная сила тяги и скорость движения ЛХТ100 с штатной КПП по передачам

№ передачи	i_T	$F_{\text{ко}}$, кН	v_o , м/с
<i>I</i>	56,651	71,59	0,669
<i>II</i>	44,226	55,89	0,857
<i>III</i>	32,854	41,52	1,153
<i>IV</i>	21,271	26,88	1,781
<i>V</i>	15,477	19,56	2,448

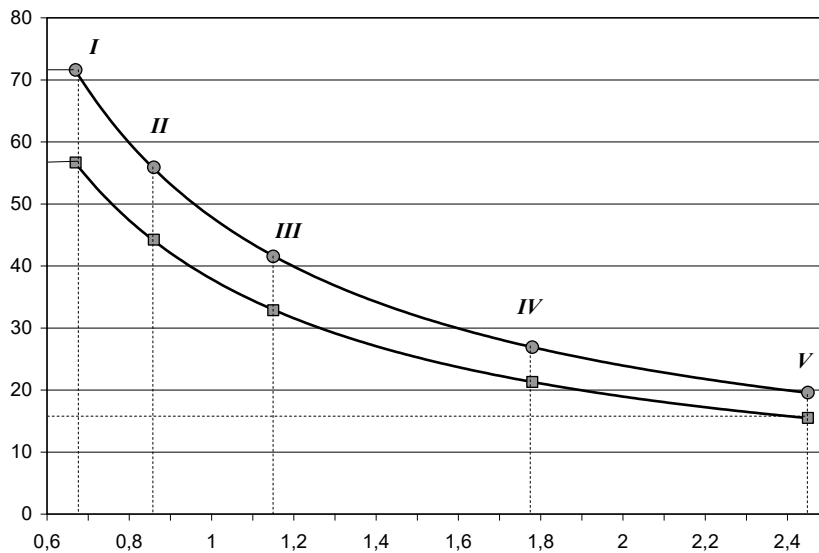


Рис. 1. Графики распределения передаточных чисел и касательной силы тяги по передачам (I... V) ЛХТ-100 с штатной КПП

Для преодоления временно возросшей перегрузки ΔF_{koi} без перехода на пониженную передачу со снижением скорости движения МТА v_{oi} необходима дополнительная мощность ΔN_{oi} , которая обеспечивается увеличением подачи топлива и, исходя из условия гиперболы (2), определяется так:

$$\Delta N_{oi} = \frac{1}{\eta_m} (v_{oi} \cdot \Delta F_{koi} + F_{koi} \cdot \Delta v_{oi}), \quad (3)$$

где возможная перегрузка ΔF_{koi} и приращение скорости Δv_{oi} определяются как разность:

$$\Delta F_{koi} = F_{koi} - F_{koi(i-1)};$$

$$\Delta v_{oi} = v_{oi} - v_{oi(i-1)}.$$

Скорость движения МТА в этом случае принимаем без учета динамики возмущающего воздействия перегрузки $v_{oi} = const$. Дополнительная мощность (требуемый запас) при этом не должна превышать имеющегося запаса мощности двигателя, $\Delta N_{oi} \leq (0,2 \dots 0,3) N_{ен} = 17,6 \dots 26,4$ кВт.

Таблица 2. Отношения передаточных чисел и разности касательной силы тяги, скорости движения и мощности между ближайшими передачами ЛХТ-100 с штатной КПП

Варианты переключения передач	$i_{пр}$	$ \Delta F_{ко} $, кН	$ \Delta v_o $, м/с	ΔN_o^* , кВт
$I \leftrightarrow II$	1,281	15,70	0,188	15,44

$II \leftrightarrow III$	1,346	14,37	0,296	18,11
$III \leftrightarrow IV$	1,545	14,64	0,628	24,82
$IV \leftrightarrow V$	1,374	7,32	0,667	19,17

Примечание. ΔN_0^* – требуемый запас мощности.

Анализируя табл. 1 и 2, нетрудно заметить неравномерность в отношениях передаточных чисел трансмиссии ЛХТ-100, как следствие – большая разность между значениями касательной силы тяги первой, второй, третьей, четвертой передачами и небольшая – между четвертой и пятой. Это сказывается на неравномерности приращений скорости движения МТА, как следствие – больших перепадах мощности. Например, (табл. 2), перепад мощности между первой и второй передачами составляет 15,44 кВт, второй и третьей – 18,11 кВт, а между третьей и четвертой – 24,82 кВт. Соотношение мощностей между третьей и четвертой, четвертой и пятой передачами (19,17 кВт) исключает преодоление временных перегрузок без переключения передачи при малом запасе мощности.

Сравнительно небольшую разность по мощности между первой и второй передачами (15,44 кВт), очевидно, можно объяснить тем, что МТА создан на базе трелевочного трактора ТЛТ-100, предназначенного для работы в тяжелых условиях с большими, частыми перегрузками, о чем свидетельствует масса трактора ($m_t = 10400$ кг), определяющая тяговое усилие, а эксплуатационная мощность двигателя ($N_e = 88$ кВт) – скорость движения. То есть, все в соответствии с требованиями ГОСТ 4.40-84, но без учета экономии энергоресурсов – расходов топлива (около 20 кг/ч) и масла на угар (около 0,54 кг/ч), а также облегчения труда оператора за счет снижения частоты переключения передач при временных перегрузках.

Библиографический список

1. Горячкин В. П. Собрание сочинений. 2-е изд., т. 1. – М.: Колос, 1968. – 720 с.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович

Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	910sav@gmail.com
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Идеальной тягово-скоростной характеристикой МТА принято считать характеристику, при которой произведение касательной силы тяги на скорость его движения есть величина постоянная. Исходя из этого условия и технического задания, вычислены касательная сила тяги и скорость движения МТА с штатным рядом передаточных чисел трансмиссии. Построены графики распределения передаточных чисел и касательной силы тяги в зависимости от номера передачи.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, тягово-скоростная характеристика, передаточные числа трансмиссии.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

К вопросу о методике экспериментального определения частотных характеристик тракторного двигателя

Власов Е.Н., Сергеевичев А.В., Епифанова А.Ю.

Моделированием неустановившихся нагрузочных режимов силовой передачи МТА занимались ряд отечественных ученых [1, 2, 3 и др.], в том числе основоположник этого направления академик В.Н. Болтинский [4]. В большинстве случаев выделялись первые три собственных частоты гармонических или полигармонических возмущения газовых сил. Для анализа и расчетов обычно выделялась основная (низшая) гармоника крутильных колебаний коленчатого вала.

Согласно зависимости для вычисления затрат мощности на динамические нагрузки необходимы передаточные функции частоты вращения коленчатого вала двигателя и колебаний подрессоренной массы МТА в продольно-вертикальной плоскости. Передаточные функции частоты вращения целесообразно получить экспериментальным путем. Объясняется это тем, что при экспериментальном определении полученные результаты обладают большей точностью и достоверностью по сравнению с теоретическими построениями.

Задача определения частотных характеристик исследуемых показателей тракторных двигателей в переходных режимах имеет определенные трудности, связанные с быстротечностью сложных физико-химических процессов преобразования топлива в тепловую и механическую энергии. В условиях эксплуатации МТА определение частотных характеристик усложняется наложением многих факторов, снижающих точность и достоверность полученных результатов. Поэтому необходимо:

- разработать методику экспериментального определения амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных (ФЧХ) характеристик основных показателей – частоты колебаний, скорости вращения коленчатого вала и крутящего момента;
- установить наличие возможных резонансных режимов исследуемых показателей в наиболее энергозатратном низкочастотном диапазоне;
- усовершенствовать тормозной стенд, максимально приближающий режимы работы двигателя к условиям функционирования МТА.

По данным [4, 5], двигатели МТА сельскохозяйственного назначения работают с регулярной составляющей нагрузки на коленчатом валу, равной $(0,6...0,9)M_{\text{сн}}$ – эффективного номинального крутящего момента. Переменной составляющей являются колебания момента нагрузки, задаваемые рельефом пути, неоднородностью структуры почвы, инерционными силами, неравномерностью хода гусеничного движителя, колебаниями подрессоренной массы МТА. В этой связи, при определении АЧХ и ФЧХ исследуемых показателей, нагруженность на коленчатом валу должна соответствовать нагруженности в силовой передаче МТА по амплитуде и спектру частот переменной составляющей с учетом способов, разработанных в теории автоматического управления [6, 7, 8].

Согласно ГОСТ 14846-69, перед началом определения АЧХ и ФЧХ исследуемого двигателя, необходимо определить номинальные и максимальные значения эффективных крутящего момента M_e и мощности N_e по внешней скоростной характеристике на частотах вращения коленчатого вала,

соответствующих этим значениям. Это необходимо, с одной стороны, для того, чтобы установить соответствие номинальных значений показателей испытуемого двигателя паспортным данным завода-изготовителя, с другой стороны – для определения диапазона нагрузочных и скоростных режимов на регуляторной и корректорной ветвях внешней скоростной характеристики. Далее, исходя из [4, 5, 9 и др.], регулярная составляющая эффективной мощности может находиться в диапазоне $N_{\text{co}}=(0,6\dots 0,9)N_{\text{ен}}$. В нашем случае, согласно ТЗ, $N_{\text{co}}=0,8N_{\text{ен}}$. Это значит, регулярная составляющая момента нагрузки на коленчатом валу $M_{\text{но}}=0,8M_{\text{ен}}$ – номинального эффективного крутящего момента, соответственно, регулярная частота вращения $n_o=0,8n_n$ – номинальной частоты вращения коленчатого вала. Следовательно, переменная составляющая момента нагрузки $M_n(t)=0,1M_{\text{ен}}$, то есть, работа двигателя должна происходить на регуляторной ветви характеристики. При этом характер изменения во времени переменной составляющей нагрузки – гармонический (синусоидальный) в соответствии с методами, применяемыми в теории автоматического управления [6, 7, 8].

Библиографический список

1. Барский И. Б., Анилович В. Я., Кутьков Г. М. Динамика трактора. – М.: Машиностроение, 1973.– 280 с.
2. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства.– М.: Колос, 2004.– 504 с.
3. Васильев К. В. Исследование загрузки двигателя трелевочного трактора ТДТ-40: автореф. дис. ... канд. техн. наук.– Л., 1963.– 16 с.
4. Болтинский В. Н. Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке.– М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1949.– 214 с.
5. Болтинский В. Н. Разгон машинно-тракторных агрегатов на повышенных скоростях.– Механизация и электрификация социалистического сельского хозяйства, 1963, №3.– С. 1-9.
6. Крутов В. И. Автоматическое регулирование двигателей внутреннего сгорания.– М.: Mashgiz, 1958.– 344 с.
7. Крутов В. И. Развитие автоматического регулирования двигателей внутреннего сгорания.– М.: Наука, 1980.– 92 с.
8. Балакирев В. С., Дудников Е. Г., Цирлин А. М. Экспериментальное определение динамических характеристик промышленных объектов управления.– М.: Энергия, 1967.– 232 с.
9. Чухчин Н. Ф., Трепененков И. И., Банник А. П., Дорменев С. И., Филиппов В. И. Улучшение технико-экономических показателей тракторов путем применения двигателей постоянной мощности. // Труды НАТИ, вып. 257.– М., 1978.– С. 3-8.

Сведения об авторах

ФИО Власов Е.Н
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Епифанова Александра Юрьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Согласно зависимости для вычисления затрат мощности, на динамические нагрузки необходимы передаточные функции частоты вращения коленчатого вала двигателя и колебаний подрессоренной массы МТА в продольно-вертикальной плоскости. Передаточные функции частоты вращения целесообразно получить экспериментальным путем. Объясняется это тем, что при экспериментальном определении полученные результаты обладают большей точностью и достоверностью по сравнению с теоретическими построениями.

Ключевые слова: передаточные функции частоты вращения.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с штатной КПП и с 5-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения касательной силы тяги

Власов Е.Н.

Выполненные аналитические исследования различных типов трансмиссии МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 [1, 2, 3] позволили установить:

1. Штатная 5-ти ступенчатая КПП характеризуется неравномерным отношением передаточных чисел трансмиссии, следствием чего является:

- для регулярной составляющей нагрузки МТА большой перепад мощности между *II* и *III* передачами – 18,11 кВт, *III* и *IV* – 24,82 кВт, *IV* и *V* – 19,17 кВт, который исключает преодоление временных перегрузок без переключения передач при малом запасе мощности;
- с учетом динамических нагрузок для рядовых условия пахоты фактические значения показателей: на *IV* передаче фактически необходимая мощность – 61,91 кВт, соответственно, часовой расход топлива – 14,054 кг/ч, расход масла на угар – 0,379 кг/ч, производительность – 3,105 га/см; на *II* передаче фактически необходимая мощность – 66,51 кВт, соответственно, часовой расход топлива – 15,098 кг/ч, расход масла на угар – 0,408 кг/ч, производительность – 1,483 га/см;
- с учетом динамических нагрузок для предельных режимов значения показателей МТА (табл. 1): на *IV* передаче предельная мощность – 83,18 кВт, соответственно, часовой расход топлива – 18,882 кг/ч, расход масла на угар – 0,509 кг/ч, производительность – 3,105 га/см; на *II* передаче предельная мощность – 80,77 кВт, соответственно, часовой расход топлива – 18,335 кг/ч, расход масла на угар – 0,495 кг/ч, производительность – 1,483 га/см.

2. 5-ти ступенчатая КПП с равной величиной приращения касательной силы тяги ($\Delta F_o = 12,98$ кН) по передачам характеризуется неравномерным отношением передаточных чисел трансмиссии, следствием чего является:

- для регулярной составляющей нагрузки МТА большой перепад мощности между *III* и *IV* передачами – 20,08 кВт, *IV* и *V* – 28,12 кВт, который исключает преодоление временных перегрузок без переключения передач при малом запасе мощности. Малый перепад мощности между *I* и *II* передачами – 12,78 кВт, *II* и *III* – 15,63 кВт позволяет преодолевать временные перегрузки при небольшом запасе мощности без переключения передач;
- с учетом динамических нагрузок для рядовых условий пахоты фактические значения показателей: на *IV* передаче фактически необходимая мощность – 51,05 кВт, соответственно часовой расход топлива – 11,588 кг/ч, расход масла на угар – 0,313 кг/ч, производительность – 2,562 га/см. В сравнении с штатной КПП фактически необходимая мощность меньше на 17,5%, соответственно часовой расход топлива – на 17,6%, расход масла на угар – на 17,4%, производительность – на 17,5%; на *II* передаче фактически необходимая мощность – 63,57кВт, соответственно часовой расход топлива – 14,430 кг/ч, расход масла на угар – 0,390 кг/ч,

производительность – 1,418 га/см. В сравнении с штатной КПП фактически необходимая мощность меньше на 4,4%, соответственно часовой расход топлива – на 2,7%, расход масла на угар – на 2,9%, производительность – на 4,4%. Очевидно, за счет снижения производительности для легких и тяжелых условий пахоты достигается экономия энергозатрат;

- с учетом динамических нагрузок для предельных режимов значения показателей МТА (табл.1): на *IV* передаче предельная мощность – 65,47 кВт, соответственно часовой расход топлива – 14,862 кг/ч, расход масла на угар – 0,401 кг/ч, производительность – 2,562 га/см. В сравнении с штатной КПП предельная мощность меньше на 21,3%, соответственно часовой расход топлива – на 21,3%, расход масла на угар – на 21,2%, производительность – на 17,5%; на *II* передаче предельная мощность – 73,32 кВт, соответственно часовой расход топлива – 16,643 кг/ч, расход масла на угар – 0,449 кг/ч, производительность – 1,418 га/см. В сравнении с штатной КПП предельная мощность меньше на 11,9%, соответственно часовой расход топлива – на 11,9%, расход масла на угар – на 11,8%, производительность – на 4,4%. Очевидно, за счет снижения производительности для легких и тяжелых условий пахоты достигается экономия энергозатрат.

Таблица 1. Предельные значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в режиме пахоты с различными КПП с учетом динамических нагрузок

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА								
			$v(\omega)$, м/с	v_p , м/с	$F(\omega)$, кН	F_p , кН	$N(\omega)$, кВт	N_p , кВт	B_p , кг/ч	$C_{сирп}$, кг/ч	P_p , га/см
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,761	11,70	34,78	1,46	83,18	18,882	0,509	3,105
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,841	8,87	59,76	2,37	80,77	18,335	0,495	1,483
КПП-5 $\Delta F_o=12,98$ кН	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,453	11,23	34,16	1,38	65,47	14,862	0,401	2,562
	т.у.	<i>II</i>	0,015	0,804	8,63	59,50	2,30	73,32	16,643	0,449	1,418

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Ахматович Е.А., Епифанова А.Ю. Определение эффективно используемой мощности привода трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. -2014. -№208, -с.54-62.
2. Власов Е.Н., Епифанова А.Ю. Выбор передаточного ряда трансмиссии машинно-тракторного агрегата//LVII Международная научная конференция: научные исследования и разработки:

сб. научных трудов/ Евразийское Научное Объединение. –М. :ЕНО, 2019.- № 11-2 (57). -С. 98-103.

3. Власов Е.Н., Михайлов О.А., Дурманов М.Я., Епифанова А.Ю. Затраты энергии на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в транспортном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. -2015. -№212, -с.104-112.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Е.Н
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 со штатной КПП и 5-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения касательной силы тяги.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с штатной КПП и с 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом

Власов Е.Н.

Выполненные аналитические исследования различных типов трансмиссии машинно-тракторного агрегата (МТА) на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 [1, 2, 3] позволили установить, что 5-ти ступенчатая КПП с постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,3832$) характеризуется постоянным отношением передаточных чисел трансмиссии и постоянным приращением мощности ($\Delta N_o = 19,505$ кВт) на всех передачах, следствием чего является:

- для регулярной составляющей нагрузки МТА перепад мощности между передачами в среднем составляет 18,505 кВт, мощность привода, необходимая для преодоления временных перегрузок без переключения передач – 89,91 кВт;

- с учетом динамических нагрузок для рядовых условий пахоты фактические значения показателей: на *IV* передаче фактически необходимая мощность – 61,64 кВт, соответственно часовой расход топлива – 13,992 кг/ч, расход масла на угар – 0,378 кг/ч, производительность – 3,091 га/см. В сравнении с штатной КПП фактически необходимая мощность меньше на 0,4%, соответственно часовой расход топлива – на 0,4%, расход масла на угар – на 0,3%, производительность – на 0,5%. То есть снижение энергозатрат на 0,4% связано со снижением производительности на 0,5%; на *II* передаче фактически необходимая мощность – 71,91 кВт, соответственно часовой расход топлива – 16,324 кг/ч, расход масла на угар – 0,441 кг/ч, производительность – 1,606 га/см. В сравнении с штатной КПП фактически необходимая мощность больше на 8,1%, соответственно часовой расход топлива – на 8,1%, расход масла на угар – на 8,1%, производительность – на 8,3%. То есть увеличение производительности на 8,3% способствует увеличению энергозатрат на 8,1%;
- с учетом динамических нагрузок для предельных режимов значения показателей МТА (табл. 1): на *IV* передаче предельная мощность – 75,55 кВт, соответственно часовой расход топлива – 17,831 кг/ч, расход масла на угар – 0,481 кг/ч, производительность – 3,091 га/см. В сравнении с штатной КПП предельная мощность меньше на 5,6%, соответственно часовой расход топлива – на 5,6%, расход масла на угар – на 5,5%, производительность – на 0,5%, что свидетельствует о правильности выбора передаточного числа трансмиссии. На *II* передаче предельная мощность – 89,18 кВт, соответственно часовой расход топлива – 20,214 кг/ч, расход масла на угар – 0,546 кг/ч, производительность – 1,606 га/см. В сравнении с штатной КПП предельная мощность больше на 10,4%, соответственно часовой расход топлива – на 10,2%, расход масла на угар – на 10,3%, производительность – на 8,3%, что свидетельствует о неудачном выборе передаточного числа трансмиссии.

Таблица 1. Предельные значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в режиме пахоты с различными КПП с учетом динамических нагрузок

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА								
			$v(\omega)$, м/с	v_p , м/с	$F(\omega)$, кН	F_p , кН	$N(\omega)$, кВт	N_p , кВт	B_p , кг/ч	$C_{сирп}$, кг/ч	P_p , га/см
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,761	11,70	34,78	1,46	83,18	18,882	0,509	3,105
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,841	8,87	59,76	2,37	80,77	18,335	0,495	1,483

КПП-5 $i_{np}=1,3832$	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,753	11,70	34,78	1,46	78,55	17,831	0,481	3,091
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,911	9,30	60,21	2,51	89,18	20,244	0,546	1,606

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Ахматович Е.А., Епифанова А.Ю. Определение эффективно используемой мощности привода трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. -2014. -№208, -с.54-62.
2. Власов Е.Н., Епифанова А.Ю. Выбор передаточного ряда трансмиссии машинно-тракторного агрегата//LVII Международная научная конференция: научные исследования и разработки: сб.научных трудов/ Евразийское Научное Объединение. –М. :ЕНО, 2019.- № 11-2 (57). -С. 98-103.
3. Власов Е.Н., Михайлов О.А., Дурманов М.Я., Епифанова А.Ю. Затраты энергии на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в транспортном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. -2015. -№212, -с.104-112.

Сведения об авторах

ФИО Власов Е.Н
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 со штатной КПП и 5-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с штатной КПП и с 6-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения касательной силы тяги

Власов Е.Н.

Выполненные аналитические исследования различных типов трансмиссии машинно-тракторного агрегата (МТА) на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 [1,

2, 3] позволили установить, что 6-ти ступенчатая КПП с равной величиной приращения касательной силы тяги ($\Delta F_o = 10,38$ кН) по передачам характеризуется неравномерным отношением передаточных чисел трансмиссии, следствием чего является:

- для регулярной составляющей нагрузки МТА большой перепад мощности между *V* и *VI* передачами – 24,40 кВт, между *IV* и *V* – 18,15 кВт, который исключает преодоление временных перегрузок без переключения передач при малом запасе мощности. Малый перепад мощности между *I* и *II* передачами – 10,22 кВт, *II* и *III* – 11,96 кВт, *III* и *IV* – 14,49 кВт позволяет преодолевать временные перегрузки без переключения передач при малом запасе мощности;
- с учетом динамических нагрузок для рядовых условия пахоты фактические значения показателей: на *V* передаче фактически необходимая мощность – 55,62 кВт, соответственно часовой расход топлива – 12,626 кг/ч, расход масла на угар – 0,341 кг/ч, производительность – 2,791 га/см. В сравнении с штатной КПП фактически необходимая мощность меньше на 10,2%, соответственно часовой расход топлива – на 10,2%, расход масла на угар – на 10,0%, производительность – на 10,1%; на *III* передаче фактически необходимая мощность – 73,23 кВт, соответственно часовой расход топлива – 16,623 кг/ч, расход масла на угар – 0,449 кг/ч, производительность – 1,636 га/см. В сравнении с штатной КПП для тяжелых условий пахоты фактически необходимая мощность больше на 10,1%, соответственно часовой расход топлива – на 10,1%, расход масла на угар – на 10,0%, производительность – на 10,3%. Очевидно, для увеличения производительности на 10,3% потребовалось увеличить энергозатраты на 10,1%;
- с учетом динамических нагрузок для предельных режимов значения показателей МТА (табл. 1): на *V* передаче предельная мощность – 69,68 кВт, соответственно часовой расход топлива – 15,817 кг/ч, расход масла на угар – 0,427 кг/ч, производительность – 2,791 га/см. В сравнении с штатной КПП предельная мощность меньше на 16,2%, соответственно часовой расход топлива – на 16,2%, расход масла на угар – на 16,1%, производительность – на 10,1%. Очевидно, для увеличения производительности на 10,1% потребовалось увеличение энергозатрат на 16,2%. На *III* передаче предельная мощность – 81,48 кВт, соответственно, часовой расход топлива – 18,496 кг/ч, расход масла на угар – 0,499 кг/ч, производительность – 1,636 га/см. В сравнении с штатной КПП предельная мощность больше на 0,9%, соответственно часовой расход топлива – на 0,9%, расход масла на угар – на 0,8%, производительность – на 10,3%. Очевидно, увеличение энергозатрат на 0,9% способствовало увеличению производительности на 10,3%, что свидетельствует о более совершенном выборе передаточного числа трансмиссии на *III* передаче в сравнении с *V* передачей.

Таблица 1. Предельные значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в режиме пахоты с различными КПП с учетом динамических нагрузок

Тип КПП	Условия	Номер	Показатели МТА
---------	---------	-------	----------------

		передачи	$\nu(\omega)$, м/с	$\nu_{п}$, м/с	$F(\omega)$, кН	$F_{п}$, кН	$N(\omega)$, кВт	$N_{п}$, кВт	$B_{п}$, кг/ч	$C_{сирп}$, кг/ч	$P_{п}$, га/см
КПП-5 Штатная	л.у.	<i>IV</i>	0,020	1,761	11,70	34,78	1,46	83,18	18,882	0,509	3,105
	т.у.	<i>II</i>	0,016	0,841	8,87	59,76	2,37	80,77	18,335	0,495	1,483
КПП-6 $\Delta F_{\omega}=10,38$ кН	л.у.	<i>V</i>	0,020	1,583	11,49	34,48	1,42	69,68	15,817	0,427	2,791
	т.у.	<i>III</i>	0,016	0,928	9,40	60,32	2,54	81,48	18,496	0,499	1,636

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Ахматович Е.А., Епифанова А.Ю. Определение эффективно используемой мощности привода трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. -2014. -№208, -с.54-62.
2. Власов Е.Н., Епифанова А.Ю. Выбор передаточного ряда трансмиссии машинно-тракторного агрегата//LVII Международная научная конференция: научные исследования и разработки: сб.научных трудов/ Евразийское Научное Объединение. –М. :ЕНО, 2019.- № 11-2 (57). -С. 98-103.
3. Власов Е.Н., Михайлов О.А., Дурманов М.Я., Епифанова А.Ю. Затраты энергии на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в транспортном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. -2015. -№212, -с.104-112.

Сведения об авторах

ФИО Власов Е.Н.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 со штатной КПП и 6-ти ступенчатой КПП с равной величиной приращения касательной силы тяги.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с штатной КПП и с 6-ти ступенчатой КПП с постоянным передаточным рядом

Власов Е.Н.

Выполненные аналитические исследования различных типов трансмиссии машинно-тракторного агрегата (МТА) на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 [1, 2, 3] позволили установить, что 6-ти ступенчатая КПП с постоянным передаточным рядом ($i_{пр} = 1,2963$) характеризуется постоянным отношением передаточных чисел трансмиссии и постоянным приращением мощности ($\Delta N_0 = 16,09$ кВт) на всех передачах, следствием чего является:

- для регулярной составляющей нагрузки МТА перепад мощности между передачами в среднем составляет 16,09 кВт, мощность привода, необходимая для преодоления временных перегрузок без переключения передач – 86,48 кВт;
- с учетом динамических нагрузок для рядовых условия пахоты фактические значения показателей: на *V* передаче фактически необходимая мощность – 65,89 кВт, часовой расход топлива – 14,957 кг/ч, расход масла на угар – 0,404 кг/ч, производительность – 3,299 га/см. В сравнении с штатной КПП фактически необходимая мощность больше на 6,4%, часовой расход топлива – на 6,4%, расход масла на угар – на 6,6%, производительность – на 6,3%; на *II* передаче фактически необходимая мощность – 67,43 кВт, соответственно часовой расход топлива – 15,307 кг/ч, расход масла на угар – 0,413 кг/ч, производительность – 1,504 га/см. В сравнении с КПП штатной комплектации необходимая мощность больше на 1,4%, соответственно часовой расход топлива – на 1,4%, расход масла на угар – на 1,2%, производительность – на 1,4%. Очевидно, увеличение производительности на 1,4% сопровождается увеличением энергозатрат на 1,4%;
- с учетом динамических нагрузок для предельных режимов значения показателей МТА (табл. 1): на *V* передаче предельная мощность – 80,87 кВт, соответственно часовой расход топлива – 18,357 кг/ч, расход масла на угар – 0,495 кг/ч, производительность – 3,299 га/см. В сравнении с КПП штатной комплектации предельная мощность меньше на 2,8%, соответственно часовой расход топлива – на 2,8%, расход масла на угар – на 2,0%, производительность больше на 6,3%. Это свидетельствует о рациональном передаточном числе трансмиссии, при котором снижение энергозатрат на 2,8% сопровождается увеличением производительности на 6,3%. На *II* передаче предельная мощность – 82,43 кВт, соответственно

часовой расход топлива – 18,711 кг/ч, расход масла на угар – 0,505 кг/ч, производительность – 1,504 га/см. В сравнении с штатной КПП предельная мощность больше на 2,1%, часовой расход топлива – на 2,1%, расход масла на угар – на 2,0%, производительность – на 1,4%. Очевидно, такое соотношение энергозатрат и производительности требует корректировки передаточного числа трансмиссии на II передаче.

Таблица 1. Предельные значения показателей МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в режиме пахоты с различными КПП с учетом динамических нагрузок

Тип КПП	Условия	Номер передачи	Показатели МТА								
			$v(\omega)$, м/с	$v_{п}$, м/с	$F(\omega)$, кН	$F_{п}$, кН	$N(\omega)$, кВт	$N_{п}$, кВт	$B_{п}$, кг/ч	$C_{сирп}$, кг/ч	$П_{п}$, га/см
КПП-5 Штатная	л.у.	IV	0,020	1,761	11,70	34,78	1,46	83,18	18,882	0,509	3,105
	т.у.	II	0,016	0,841	8,87	59,76	2,37	80,77	18,335	0,495	1,483
КПП-6 $i_{пр}=1,2963$	л.у.	V	0,021	1,871	11,78	34,93	1,48	80,87	18,357	0,495	3,299
	т.у.	II	0,016	0,853	8,95	59,84	2,40	82,43	18,711	0,505	1,504

Примечания: л.у. – легкие условия; т.у. – тяжелые условия.

Библиографический список

1. Власов Е.Н., Ахматович Е.А., Епифанова А.Ю. Определение эффективно используемой мощности привода трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. -2014. -№208, -с.54-62.
2. Власов Е.Н., Епифанова А.Ю. Выбор передаточного ряда трансмиссии машинно-тракторного агрегата//LVII Международная научная конференция: научные исследования и разработки: сб.научных трудов/ Евразийское Научное Объединение. –М. :ЕНО, 2019.- № 11-2 (57). -С. 98-103.
3. Власов Е.Н., Михайлов О.А., Дурманов М.Я., Епифанова А.Ю. Затраты энергии на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в транспортном режиме. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. -2015. -№212, -с.104-112.

Сведения об авторах

ФИО Власов Е.Н
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

Аннотация

Приводится сравнительный анализ работы МТА на базе ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 со штатной КПП и 6-ти ступенчатая КПП с постоянным передаточным рядом.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, коробка перемены передач, затраты мощности, динамические нагрузки, частотные характеристики, собственные частоты.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Методы расчета нагруженности и энергозатрат лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата при различных характерах входного возмущения

Дурманов М.Я., Козьмин С.Ф., Мартынов Б.Г., Спиридонов С.В.

Введение.

С целью сравнения различных методов расчета нагруженности и энергозатрат лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА), вычисление и анализ частотных характеристик эксплуатационных показателей, рекомендуется выполнить для двух случаев изменения нагрузки на ведущих звездочках, – при детерминированном входном возмущении и при возмущении со стороны микрорельефа пути, представляющем стохастический случайный процесс. Причем, для стохастического случайного процесса двумя способами – по правилу «трех сигм» и по правилу «математического ожидания динамической составляющей» [1].

В условиях функционирования МТА на участке, после вырубki леса, микрорельеф пути можно рассматривать как стационарный эргодичный случайный процесс, характеризуемый математическим ожиданием M_i , дисперсией D_i , корреляционной функцией $R_i(\tau)$ или спектральной плотностью $S_i(\omega)$ [2].

Известно, что дисперсия характеризует меру рассеивания случайного процесса, а спектральная плотность – величину каждой неровности и реакцию системы, входящей в рассматриваемый спектр частот переменной составляющей нагрузки. Согласно теореме Винера-Хинчина [3] спектральная плотность, например, касательной силы тяги $S_{F_k}(\omega)$, определится по выражению:

$$S_{F_k}(\omega) = |G_{21}(j\omega)|^2 \cdot S_H(\omega), \quad (1)$$

соответственно дисперсия касательной силы тяги $D_{F_k}(\omega)$:

$$D_{F_k}(\omega) = \left(\frac{f_{\text{тк}} c_{\Sigma}}{\pi} \right)^2 \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} |G_{21}(j\omega)|^2 \cdot S_{\text{н}}(\omega) \cdot d\omega \quad (2)$$

где $f_{\text{тк}}$ – коэффициент трения качения движителя; $G_{21}(j\omega)$ – передаточная функция касательной силы тяги; \tilde{n}_{Σ} – суммарная жесткость системы поддрессоривания МТА.

При проектировании МТА возникает вопрос, – какова вероятность появления каждой неровности с частотой ω_i в рассматриваемом спектре? На практике может оказаться так, что вероятность появления неровностей с большой величиной минимальна, но в дисперсии они учитываются как равновероятностные. Поэтому классические «три сигмы», применяемые в практических (инженерных) расчетах, не всегда оправданны, поскольку неизвестно, какова вероятность появления каждой неровности случайного процесса с частотой ω_i . Это может привести к неоправданно завышенным (или заниженным) значениям конструктивных параметров или расчетных эксплуатационных показателей МТА. Поэтому, для повышения точности и достоверности расчетов, необходимо учитывать вероятность $P_i(\omega)$ появления каждой неровности с частотой ω_i во всем спектре стохастического случайного процесса, например, выражением:

$$\dot{I}_{F_{\hat{e}}}(\omega) = \left[\left(\frac{f_{\text{тк}} \tilde{n}_{\Sigma}}{\omega_{\text{сi}}} \right)^2 \cdot \int_{\omega=0}^{\omega=\infty} |G_{21}(j\omega)|^2 \cdot S_i(\omega) \cdot D_1(\omega) \cdot d\omega \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (3)$$

которое, по определению [3], можно рассматривать как математическое ожидание спектральной плотности, в данном случае, динамической составляющей касательной силы $\dot{I}_{F_{\hat{e}}}(\omega)$, где $\omega_{\text{сi}}$ – собственная низшая частота колебаний МТА.

Например, для гусеничного трактора участок пути движения МТА характеризуется неровностями с спектральной плотностью $S_i(\omega)$:

$$S_{\text{н}}(\omega) = \frac{2\alpha_2 \nu \sigma_{\text{н}}}{\pi(\alpha_3^2 + \omega^2)} \quad (4)$$

и плотностью вероятности $P_i(\omega)$ появления каждой неровности с частотой ω_i :

$$P_H(\omega) = \begin{cases} P_{H1}(\omega), & 0 \leq \omega \leq 3; \\ P_{H2}(\omega), & 3 \leq \omega \leq 7; \\ P_{H3}(\omega), & 7 \leq \omega \leq 12, \end{cases} \quad (5)$$

где α_2, α_3 – коэффициенты корреляции для данной скорости движения: $\alpha_2 = 0,2; \alpha_3 = 4,5; v$ – скорость движения МТА; σ_i – средняя квадратическая высота неровностей участка пути: $\sigma_i = 0,030$ м.

Определим (5) на конкретном участке:

$$\begin{cases} P_{H1}(\omega) = -(16,41\mu^3 + 36,26\mu^2 + 23,86\mu + 4,005); \\ P_{H2}(\omega) = 3,22\mu^3 + 1,58\mu^2 - 1,08\mu + 0,380; \\ P_{H3}(\omega) = 0,031\mu^3 + 0,118\mu^2 - 0,42\mu + 0,321; \\ \mu = (\omega - 6)/6. \end{cases} \quad (6)$$

Выражения $S_i(\omega)$ и $P_{1i}(\omega)$ получены аналитической аппроксимацией результатов камеральной обработки микрорельефа участка на вырубке в Лисинском учебно-опытном лесхозе Ленинградской области. На рис. 1 представлены характеристики спектральной плотности (кривая 1) и плотности вероятности появления неровностей случайного процесса с частотой ω_i (кривая 2) участка пути движения МТА.

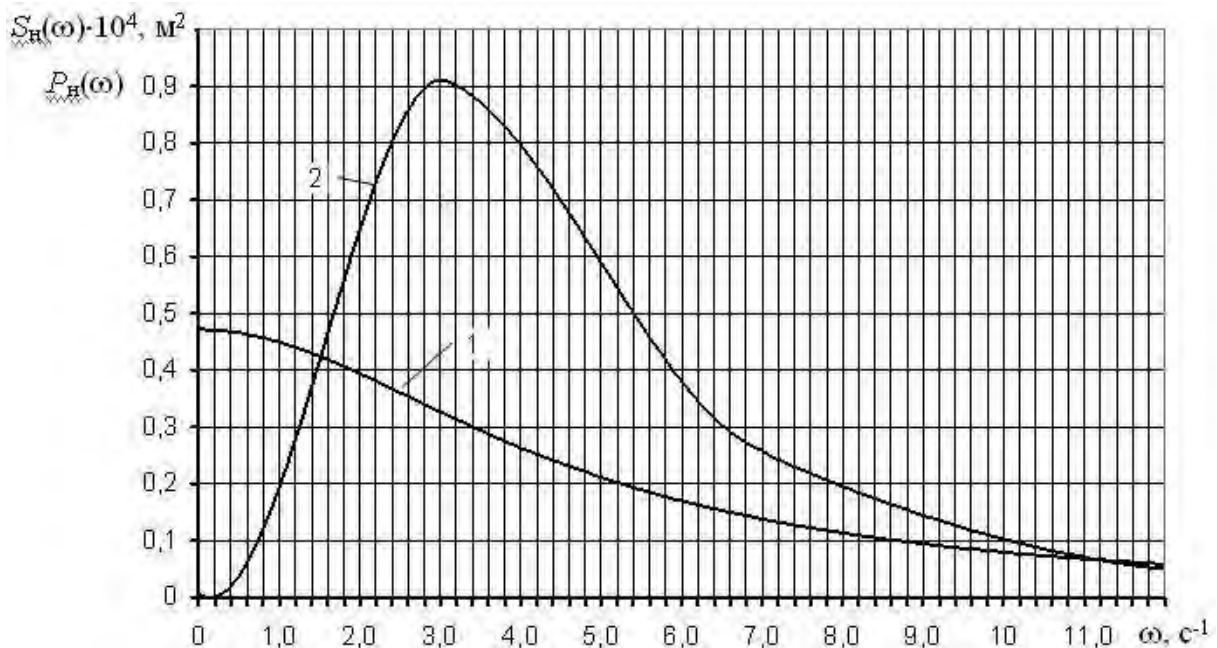


Рис. 1. Характеристики неровностей участка пути движения МТА: 1 – спектральная плотность неровностей $S_i(\omega)$; 2 – плотность вероятности появления неровностей $P_i(\omega)$

Возможные различия в вычислениях показателей МТА тремя способами объясняется следующим образом:

- при детерминированном возмущении и стационарном процессе амплитуда переменной составляющей нагрузки постоянна во всем интервале частот. В условиях функционирования МТА, возмущение со стороны пути движения, как правило, представляет случайный процесс с наличием неровностей разной величины и вероятности их появления;
- при стохастическом случайном процессе, вычисленном по правилу «трех сигм», учитываются все неровности случайного процесса, ограниченного диапазоном $\pm 3\sigma$, в предположении, что все они появляются с равной вероятностью;
- при стохастическом случайном процессе, вычисленном по правилу «математического ожидания динамической составляющей», учитываются не только величина, но и вероятность появления каждой неровности с частотой ω_i во всем диапазоне частот.

Заключение.

Практическая применимость и ценность вычислений разными способами заключается в следующем:

- детерминированное возмущение целесообразно использовать в расчетах на стадии проектирования МТА, если неизвестны возможные величина и характер предполагаемых нагрузок;
- стохастический случайный процесс – для уточнения интервала частот и величины динамических составляющих нагрузок, воспринимаемых МТА и его агрегатами, а также, в процессе эксплуатации – для расчета необходимого и достаточного количества горюче-смазочных материалов и уточнения ресурса энергосиловой установки, при выполнении технологических операций в конкретных условиях функционирования МТА.

Библиографический список

1. Антипин, В.П. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата/В. П. Антипин, М. Я. Дурманов, Г. В. Каршев – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 484 с.
2. Добрынин, Ю. А. Исследование вертикальной динамики колесного трактора на трелевке в условиях рубок промежуточного пользования: специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Добрынин Юрий Андреевич. – Ленинград, 1973. – 205 с.
3. Солодовников, В. В. Статистическая динамика линейных систем автоматического управления. – М.: Физматгиз, 1960. – 655 с.

Сведения об авторах

ФИО

Дурманов М.Я.

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации	университет имени С.М. Кирова 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3809-9956
e-mail	Durmanov130266@rambler.ru
ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Мартынов Б.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lgkm@spbftu.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru

Аннотация

Для сравнения различных методов расчета нагруженности и энергозатрат лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА) изменение нагрузки на ведущих звездочках трактора предлагается рассматривать в виде детерминированного входного возмущения и при возмущении со стороны микрорельефа пути, представляющем стохастический случайный процесс. Для стохастического случайного процесса эксплуатационные параметры определяются двумя способами – по правилу «трех сигм» и по правилу

«математического ожидания динамической составляющей». Методы расчета представлены для МТА на базе гусеничного трактора ЛХТ-100.

Ключевые слова: лесохозяйственный агрегат, касательная сила, входное возмущение, правило «трех сигм», спектральная плотность.

УДК 630*375.4

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.01.77; 55.42.03; 55.57.29; 68.01.77; 68.29.15; 68.85.29

Повышение эффективно используемой касательной силы тяги лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата при транспортном режиме функционирования

Дурманов М.Я., Козьмин С.Ф., Мартынов Б.Г., Спиридонов С.В.

Введение.

Транспортный режим работы является относительно непродолжительным при работе лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА), например, с плугом. Исследованиями [1-3] установлено, что несмотря на относительную непродолжительность транспортный режим характеризуется повышенными энергозатратами. Этот аспект необходимо учитывать в связи с тем, что современные лесохозяйственные тракторы предназначены для использования с широким спектром навесных и прицепных агрегатов [4], при работе с которыми в составе МТА относительная продолжительность транспортного режима функционирования возрастает.

Целью работы является определение энергозатрат на реализацию касательной силы тяги МТА при транспортном режиме функционирования для оценки правильности конструктивных решений, принятых при проектировании трактора и сельскохозяйственных агрегатов. Для определения энергозатрат используется метод, основанный на построении поверхности состояния амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) касательной силы [1,3]. Входное возмущение имеет детерминированный характер изменения нагрузки на ведущих звездочках трактора. При детерминированном возмущении и стационарном процессе амплитуда переменной составляющей нагрузки постоянна во всем интервале частот.

Касательная сила МТА с гусеничным движителем в транспортном режиме F_k^T состоит из регулярной (средней) составляющей $F_{\hat{e}i}$ и переменной – $F_{\hat{e}}(\omega)$, являющимися реакцией на внешние воздействия:

$$F_{\hat{e}i}^{\dot{0}} = mg(\sin \alpha + f_{\dot{0}\hat{e}} \cos \alpha), \quad (1)$$

$$F_{\hat{e}}^{\dot{\omega}}(\omega) = F_{\hat{n}}^{\dot{a}} R \cdot A_4 \omega |U_{11}(j\omega)| + f_{\dot{\omega}\hat{e}} \left| \Theta_{\hat{a}}^{\dot{\omega}}(j\omega) \right|; \quad (2)$$

где m – масса МТА: $m = m_{\dot{\omega}} + m_{\dot{\omega}\hat{e}}$; $m_{\dot{\omega}}$, $m_{\dot{\omega}\hat{e}}$ – масса трактора и масса плуга; $f_{\dot{\omega}\hat{e}}$ – коэффициент трения качения; α – угол подъема участка пути; F_c^a – амплитуда переменной составляющей сил сопротивления движению МТА: $F_c^a = 0,15 M_{\text{en}}$; M_{en} – номинальный эффективный крутящий момент; $A_4 = (\pi R / 30 i_{\dot{\omega}}) m$; R – радиус ведущей звездочки; $i_{\dot{\omega}}$ – передаточное число трансмиссии; ω – частота колебаний нагрузки на ведущих колесах; $|U_{11}(j\omega)|$ – передаточная функция частоты вращения коленчатого вала дизеля по возмущающему воздействию; $|\Theta_{\hat{a}}^{\dot{\omega}}(j\omega)|$ – передаточная функция колебаний остова МТА в продольно-вертикальной плоскости в транспортном режиме.

Вид передаточных функций $|U_{11}(j\omega)|$, $|\Theta_{\hat{a}}^{\dot{\omega}}(j\omega)|$ и входящие в них параметры описаны в работах [1, 3, 5].

Подставляя в (2) значения $|U_{11}(j\omega)|$ и $|\Theta_{\hat{a}}^{\dot{\omega}}(j\omega)|$, вычисляем амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) касательной силы тяги при движении МТА, на базе трактора ЛХТ-100, по вырубке с плугом ПКЛ-70-4 на третьей передаче (рис. 1). Исходные данные для расчета [1, 3, 5]: $i_{\dot{\omega}} = 34,84$; $R = 0,238$ м; $\alpha = 3^\circ$; $m_{\dot{\omega}} = 10400$ кг; $m_{\dot{\omega}\hat{e}} = 520$ кг; $f_{\dot{\omega}\hat{e}} = 0,18$; $F_{\hat{n}}^{\dot{a}} = 1920$ Н.

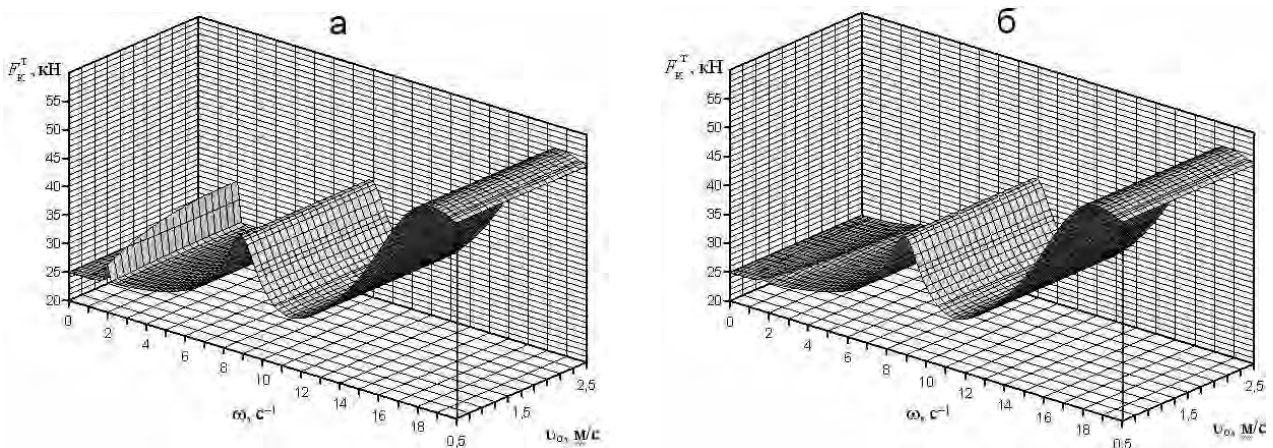


Рис. 1. Поверхности состояния АЧХ касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме в зависимости от скорости движения при жесткости подвеса $C_1 = 1400$ кН/м: *а* – в штатной комплектации трактора; *б* – с гасителями колебаний остова МТА и КУ дизеля

Выполняя сечения в продольно-вертикальной плоскости (вдоль оси абсцисс) (рис. 1) при любом фиксированном значении регулярной скорости v_0

движения МТА и по всему диапазону частот ω колебаний нагрузки на ведущих звездочках можно вычислить регулярную и динамическую составляющие касательной силы. Характер изменения динамической составляющей касательной силы $F_{\epsilon}^{\dot{\circ}}(\omega)$ при скорости $v_0=1,02$ м/с (3-я передача) представлен на рис. 2.

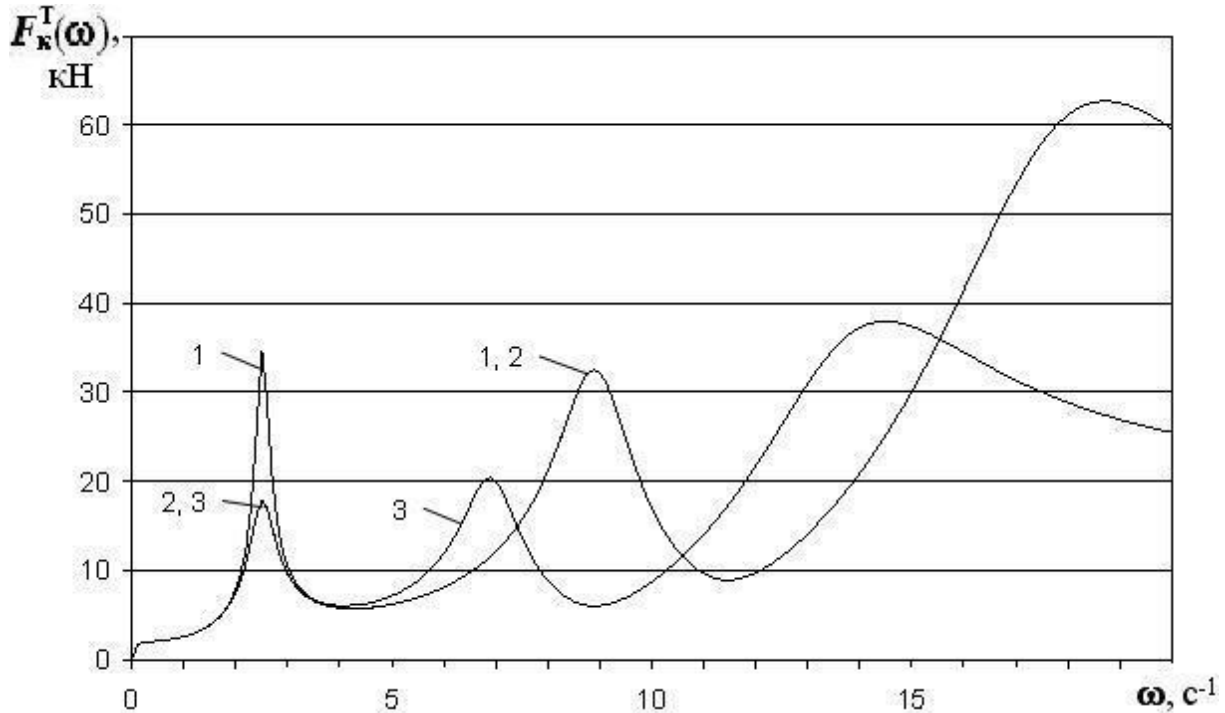


Рис. 2. АЧХ касательной силы МТА "ЛХТ-100 + плуг ПКЛ-70-4" в транспортном режиме (на 3-й передаче): 1 – при $c_1=1400$ кН/м, в штатной комплектации трактора; 2 – при $c_1=1400$ кН/м, с гасителями колебаний в системе подрессоривания МТА и КУ дизеля; 3 – при $c_1=840$ кН/м, с гасителями колебаний в системе подрессоривания МТА и КУ дизеля

Для дизелей, оснащенных топливным насосом высокого давления (ТНВД) речного типа, снижение составляющей энергозатрат от колебаний остова трактора в низкочастотном диапазоне возможно при установке корректирующего устройства (КУ) – гасителя колебаний рейки топливного насоса (РТН). Колебания МТА в продольно-вертикальной плоскости создают периодические изменения нагрузки на двигатель, вызывая колебания в системе автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала, что приводит к колебаниям скорости движения трактора [1, 2]. Процесс перерегулирования в системе "ТНВД – регулятор скорости" способствует увеличению амплитуды крутящего момента и сопровождается повышенной величиной цикловой подачи топлива. Установка гасителя колебаний РТН позволяет снизить величину амплитуды колебаний цикловой подачи топлива [1, 2].

Установка КУ и снижение суммарной жесткости поддрессоривания ($c_{\Sigma} = 2c_1$) на 40% способствуют снижению амплитуд при собственных частотах (рис. 2, кривая 3). При этом снижаются не только амплитуды, но и собственные частоты. Результаты расчета касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 в транспортном режиме при детерминированном входном возмущении представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты расчета динамической составляющей и эффективно реализуемой касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме при детерминированном входном возмущении

Установка гасителей колебаний остова МТА и КУ дизеля	Динамическая составляющая касательной силы $F_{\dot{\epsilon}}^{\dot{\omega}}$, кН		Эффективно реализуемая касательная сила, кН, $F_{\dot{\epsilon}y}^{\dot{\omega}} = F_{\dot{\epsilon}i}^{\dot{\omega}} - F_{\dot{\epsilon}}^{\dot{\omega}}(\omega)$	
	$c_1 = 1400$ кН/м	$c_1 = 840$ кН/м	$c_1 = 1400$ кН/м	$c_1 = 840$ кН/м
отсутствуют	12,04	12,55	12,82	12,31
имеются	9,70	10,65	15,16	14,21

Заключение.

Для случая детерминированного возмущения, при снижении суммарной жесткости поддрессоривания МТА на 40% и установке гасителей колебаний остова МТА и КУ дизеля, величина колебаний касательной силы от действия динамических нагрузок снижается на 11,5% (с 12,04 до 10,65 кН). Эффективно используемая касательная сила при этом увеличивается на 10,8% (с 12,82 до 14,21 кН) (табл. 1).

Библиографический список

1. Антипин, В.П. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата / В.П. Антипин, М. Я. Дурманов, Г. В. Каршев – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 484 с.
2. Барский, И. Б. Динамика трактора / И.Б. Барский, В. Я. Анилович, Г. М. Кутьков – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
3. Спиридонов, С.В. Энергозатраты на реализацию касательной силы лесохозяйственного МТА в транспортном режиме / С.В. Спиридонов, М.Я. Дурманов, О.А. Михайлов // II-ая международная НТК «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»; СПбГЛТУ им. С.М. Кирова 24-26.05.17 г. том № 3, С. 43-46.
4. Гуцелюк, Н.А. Выбор трактора для лесохозяйственных работ [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Н.А. Гуцелюк, С.В. Спиридонов. - Электрон. дан. - Санкт-Петербург : «ПрофиКС», 2006. - 136 с. - Режим доступа: <https://e.lanbook.com/book/4328>. - Загл. с экрана.
5. Варава, В.И. Энергозатраты трактора ТБ-1 / В.И. Варава, В.П. Антипин, Г.В. Каршев // Лесной журнал, № 5, 2007.- С.45-53.

Сведения об авторах

ФИО

Дурманов М.Я.

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации	университет имени С.М. Кирова 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3809-9956
e-mail	Durmanov130266@rambler.ru
ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Мартынов Б.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lgkm@spbftu.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru

Аннотация

В работе рассматривается метод определения регулярной (средней) и динамической составляющих касательной силы тяги лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА) при транспортном режиме функционирования и детерминированном характере изменения нагрузки на ведущих звездочках трактора. Метод основывается на использовании поверхности состояния амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) касательной силы. Расчеты выполнены для МТА на базе гусеничного трактора ЛХТ-100.

Ключевые слова: лесохозяйственный агрегат, касательная сила, детерминированное возмущение, амплитудно-частотная характеристика, метод сечений.

УДК 630*375.4

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.01.77; 55.42.03; 55.57.29; 68.01.77; 68.29.15; 68.85.29

Изменение касательной силы тяги машинно-тракторного агрегата при транспортном режиме функционирования и стохастическом входном возмущении

**Дурманов М.Я., Мартынов Б.Г.,
Михайлов О.А., Спиридонов С.В., Тарадин Г.С.**

Введение.

Исследованиями [1, 2] установлено, что значительную часть времени лесохозяйственные машинно-тракторные агрегаты (МТА) работают в неустановившемся режиме из-за неравномерности хода, особенностей технологического процесса, характеристик вырубki и др., что характерно как для транспортных, так и технологических режимов работы. Также выявлено существование интервалов частот колебаний нагрузки на ведущих звездочках трактора (на коленчатом валу дизеля), где отклонения амплитуд частоты вращения и крутящего момента от средних значений наибольшие. Это является основной причиной повышенных энергозатрат при работе в неустановившемся режиме функционирования.

В условиях функционирования МТА на участке, после вырубki леса, микрорельеф пути можно рассматривать как стационарный эргодичный случайный процесс, характеризуемый математическим ожиданием M_i , дисперсией D_i , корреляционной функцией $R_i(\tau)$ или спектральной плотностью $S_i(\omega)$ [3].

В условиях функционирования МТА, возмущение со стороны пути движения, как правило, представляет случайный процесс с наличием неровностей разной величины и вероятности их появления:

- при стохастическом случайном процессе, вычисленном по правилу «трех сигм», учитываются все неровности случайного процесса, ограниченного диапазоном $\pm 3\sigma$, в предположении, что все они появляются с равной вероятностью;
- при стохастическом случайном процессе, вычисленном по правилу «математического ожидания динамической составляющей», учитываются не только величина, но и вероятность появления каждой неровности с частотой ω_i во всем диапазоне частот.

Согласно теореме Винера-Хинчина [4] спектральная плотность касательной силы тяги $S_{F_{\hat{e}}}(\omega)$ определится по выражению:

$$S_{F_{\hat{e}}}(\omega) = |G_{21}(j\omega)|^2 \cdot S_i(\omega), \quad (1)$$

где $G_{21}(j\omega)$ – передаточная функция касательной силы тяги [1].

Для гусеничного трактора участок пути движения МТА характеризуется неровностями с спектральной плотностью $S_i(\omega)$:

$$S_H(\omega) = \frac{2\alpha_2 v \sigma_H}{\pi(\alpha_3^2 + \omega^2)}, \quad (2)$$

где α_2, α_3 – коэффициенты корреляции для данной скорости движения: $\alpha_2 = 0,2$; $\alpha_3 = 4,5$; v – скорость движения МТА; σ_i – средняя квадратическая высота неровностей участка пути: $\sigma_i = 0,030$ м.

Динамическая составляющая касательной силы $F_{\hat{e}}^{\dot{\omega}}(\omega)$ в транспортном режиме определяется выражением:

$$F_{\hat{e}}^{\dot{\omega}}(\omega) = F_{\hat{n}}^a R \cdot A_4 \omega |U_{11}(j\omega)| + f_{\dot{\omega}\hat{e}} \left| \Theta_{\hat{a}}^{\dot{\omega}}(j\omega) \right|, \quad (3)$$

где F_c^a – амплитуда переменной составляющей сил сопротивления движению МТА: $F_c^a = 0,15 M_{en}$; M_{en} – номинальный эффективный крутящий момент; $A_4 = (\pi R / 30 i_{\dot{\omega}}) m$; R – радиус ведущей звездочки; $i_{\dot{\omega}}$ – передаточное число трансмиссии; ω – частота колебаний нагрузки на ведущих колесах; $|U_{11}(j\omega)|$ – передаточная функция частоты вращения коленчатого вала дизеля по возмущающему воздействию; $\left| \Theta_{\hat{a}}^{\dot{\omega}}(j\omega) \right|$ – передаточная функция колебаний остова МТА в продольно-вертикальной плоскости в транспортном режиме.

Вид передаточных функций $|U_{11}(j\omega)|$, $\left| \Theta_{\hat{a}}^{\dot{\omega}}(j\omega) \right|$ и входящие в них параметры описаны в работах [1, 5].

В качестве примера рассмотрим движение лесохозяйственного трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 по вырубке со скоростью $v = 3,6$ км/ч (1 м/с), на третьей передаче. Спектральная плотность касательной силы $S_{F_k}^T(\omega)$ в транспортном режиме с учетом спектральной плотности неровностей пути $S_i(\omega)$ вычисляется подстановкой (3) и (2) в (1):

$$S_{F_k}^T(\omega) = \left[(A_4\omega)^2 \cdot |U_{11}(j\omega)|^2 + f_{TK}^2 \cdot |\Theta_B^T(j\omega)|^2 \right] \cdot (f_{TK}c_\Sigma)^2 \cdot S_H(\omega) \quad (4)$$

Очевидно (рис. 1, кривая 1), что спектральная плотность касательной силы имеет два экстремума при частотах: $\omega_c = 2,5$ и $9,0 \text{ с}^{-1}$ с величинами 2870 и 653 $\text{кН}^2/\text{с}$, соответственно. С установленными гасителями колебаний в системе подрессоривания и корректирующими устройствами (КУ) двигателя величина спектральной плотности снижается при $\omega_c = 2,5 \text{ с}^{-1}$ до 724 $\text{кН}^2/\text{с}$ (рис. 1, кривая 2).

Динамическая составляющая и эффективно реализуемая касательная сила МТА (табл. 1, 2) рассчитывались для варьируемых конструктивных параметров жесткости подвеса трактора $c_1 = 1400$ и 840 кН/м , и установке корректирующих устройств (КУ) в топливный насос высокого давления и главную масляную магистраль (ГММ) дизеля [1]. В качестве первого корректирующего устройства использовался гаситель колебаний рейки топливного насоса (РТН), позволяющий снизить амплитуду колебаний рейки и отрицательное действие гидродинамической силы на качество процесса регулирования скорости. Второе корректирующее устройство устанавливалось в ГММ и позволяло улучшить смазочный режим за счет изменения фазового запаздывания приращения давления масла в ГММ с -180° до -45° [1], уменьшив амплитуду колебаний момента механических потерь и величину сил трения.

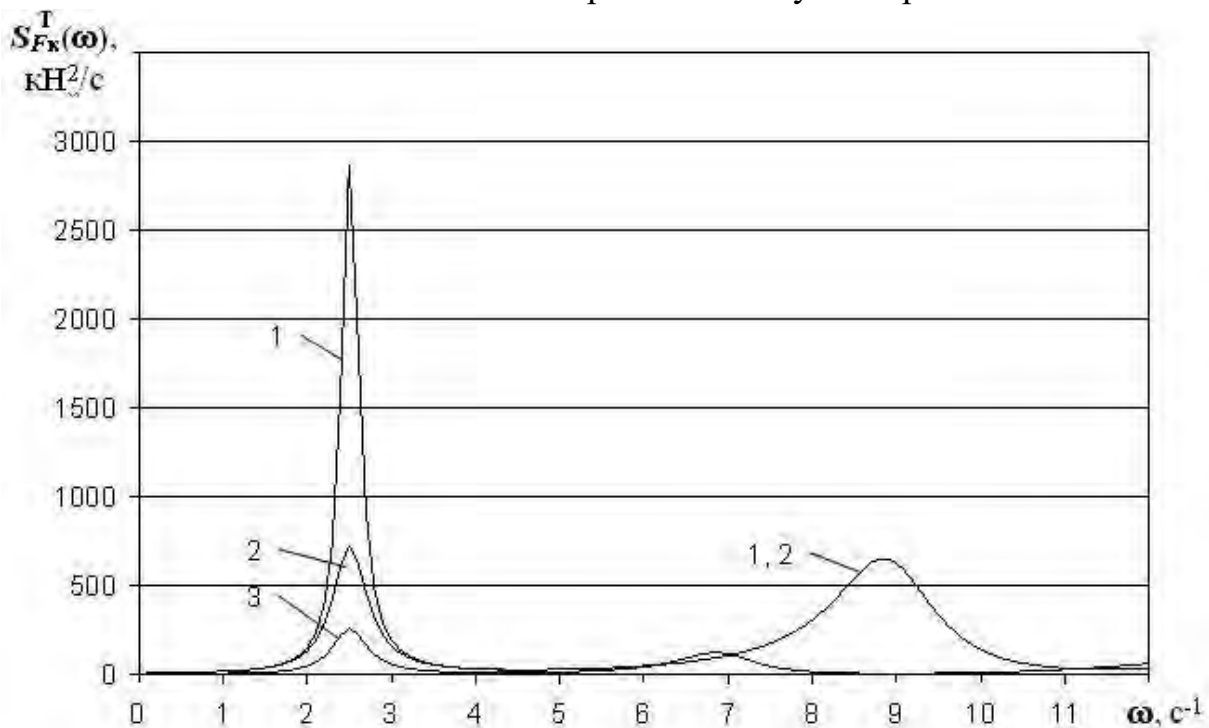


Рис. 1. Спектральная плотность касательной силы в транспортном режиме: 1 – при жесткости $c_\Sigma = 2c_1 = 2800 \text{ кН/м}$; 2 – при установке гасителей колебаний

в систему подрессоривания МТА и КУ двигателя ($c_{\Sigma} = 2800$ кН/м);
 3 – при установке гасителей колебаний в систему подрессоривания МТА и КУ
 двигателя и снижении жесткости до $c_{\Sigma} = 1680$ кН/м

Таблица 1. Результаты расчета динамической составляющей и эффективно реализуемой касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме при стохастическом входном возмущении по правилу «трех сигм»

Установка гасителей колебаний остова МТА и КУ дизеля	Динамическая составляющая касательной силы $\sigma_{F_k}^T(\omega)$, кН		Эффективно реализуемая касательная сила, кН, $M_{F_{кз}}^T = M_{F_{ко}}^T - 3\sigma_{F_k}^T(\omega)$	
	$c_1 = 1400$ кН/м	$c_1 = 840$ кН/м	$c_1 = 1400$ кН/м	$c_1 = 840$ кН/м
отсутствуют	19,89	12,93	5,00	11,23
имеются	14,63	10,10	10,23	14,76

Примечание: $M_{F_{кз}}^T$ – математическое ожидание эффективно реализуемой касательной силы; $M_{F_{ко}}^T$ – математическое ожидание регулярной составляющей касательной силы; $\sigma_{F_k}^T(\omega)$ – среднее квадратическое отклонение касательной силы; $M_{F_{ко}}^T = mg(\sin \alpha + f_{тк} \cos \alpha)$, где m – масса МТА; α – угол подъема участка пути; $f_{\delta\epsilon}$ – коэффициент трения качения.

Таблица 2. Результаты расчета динамической составляющей и эффективно реализуемой касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в транспортном режиме при стохастическом входном возмущении по правилу «математического ожидания динамической составляющей»

Установка гасителей колебаний остова МТА и КУ дизеля	Динамическая составляющая касательной силы $M_{F_k}^T(\omega)$, кН		Эффективно реализуемая касательная сила, кН, $M_{F_{кз}}^T = M_{F_{ко}}^T - M_{F_k}^T(\omega)$	
	$c_1 = 1400$ кН/м	$c_1 = 840$ кН/м	$c_1 = 1400$ кН/м	$c_1 = 840$ кН/м
отсутствуют	12,34	7,68	12,52	17,18
имеются	8,73	5,62	16,49	19,24

Примечание: $M_{F_k}^T(\omega)$ – математическое ожидание динамической составляющей.

Заключение.

Очевидно (табл. 1, 2), что с изменением суммарной жесткости поддрессорования МТА на 40% (с 2800 до 1680 кН/м) величина колебаний касательной силы от действия динамических нагрузок в спектре частот $0...12 \text{ с}^{-1}$ снижается на 35...49%. При вычислении по разным правилам математическое ожидание эффективно реализуемой касательной силы увеличивается на 195% (с 5,0 до 14,76 кН) (табл. 1), и на 54% (с 12,52 до 19,24 кН) (табл. 2).

Отличия в вычислениях математического ожидания $M_{F_{к\alpha}}^T$ эффективно реализуемой касательной силы объясняется тем, что в первом случае (правило «трех сигм») рассматривается спектр частот, ограниченный $\sigma_{F_{к}}^T(\omega)$, без учета вероятности появления каждой неровности с частотой ω_i , а во втором – учитываются не только величина, но и вероятность появления каждой гармоника (неровности) с частотой ω_i во всем спектре частот $\omega = 0...12 \text{ с}^{-1}$.

Библиографический список

1. Антипин, В.П. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата/В. П. Антипин, М. Я. Дурманов, Г. В. Каршев – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 484 с.
2. Барский, И. Б. Динамика трактора / И.Б. Барский, В. Я. Анилович, Г. М. Кутьков – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
3. Добрынин, Ю. А. Исследование вертикальной динамики колесного трактора на трелевке в условиях рубок промежуточного пользования: специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Добрынин Юрий Андреевич. – Ленинград, 1973. – 205 с.
4. Солодовников, В. В. Статистическая динамика линейных систем автоматического управления. – М.: Физматгиз, 1960. – 655 с.
5. Власов, Е.Н. Затраты энергии на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в транспортном режиме / Е.Н. Власов, О.А. Михайлов, М.Я. Дурманов [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 213.- СПб.: СПбГЛТУ, 2015.- С. 138-147.

Сведения об авторах

ФИО Дурманов М.Я.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3809-9956
e-mail Durmanov130266@rambler.ru

ФИО Мартынов Б.Г.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации	университет имени С.М. Кирова 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lgkm@spbftu.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru

Аннотация

В работе рассматривается метод определения динамической составляющей и эффективно используемой касательной силы тяги лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА) при транспортном режиме функционирования и стохастическом характере изменения нагрузки на ведущих звездочках трактора. Метод основывается на использовании спектральной плотности касательной силы и её вероятностных характеристик. Расчеты выполнены для МТА на базе гусеничного трактора ЛХТ-100.

Ключевые слова: лесохозяйственный агрегат, касательная сила, стохастическое возмущение, спектральная плотность, правило «трех сигм».

УДК 630*375.4

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.01.77; 55.42.03; 55.57.29; 68.01.77; 68.29.15; 68.85.29

Характер изменения динамической составляющей касательной силы тяги лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата при пахотном режиме функционирования

**Дурманов М.Я., Мартынов Б.Г.,
Михайлов О.А., Спиридонов С.В., Тарадин Г.С.**

Введение.

Для дизельного двигателя СМД-20Т.04, установленного на тракторе ЛХТ-100, исследованиями [1-3] выявлена резонансная частота $\omega_c = 2,5 \text{ с}^{-1}$, сопровождаемая повышенной динамической нагруженностью и энергозатратами на реализацию касательной силы. Причинами повышенных энергозатрат и динамической нагруженности в силовой передаче являются [1,4]:

- близость собственных (резонансных) частот системы подрессоривания МТА при колебаниях в продольно-вертикальной плоскости к резонансной частоте колебаний скорости вращения вала двигателя;
- несовершенство систем регулирования скорости, подачи топлива в камеру сгорания и смазочного масла к парам трения двигателя, выраженное в наличии резонансных частот, близких к собственным частотам системы подрессоривания МТА.

Для лесохозяйственного МТА основными внешними воздействиями в моделях функционирования являются: профиль поверхности вырубki, задаваемый корреляционной функцией и спектральной плотностью; факторы разнообразия физико-механических свойств почвы; скорость движения МТА. При детерминированном возмущении и стационарном процессе амплитуда переменной составляющей нагрузки постоянна во всем интервале частот. Детерминированное возмущение целесообразно использовать в расчетах на стадии проектирования МТА, если неизвестны возможные величина и характер предполагаемых нагрузок.

Целью исследования является оценка влияния конструктивных и эксплуатационных параметров МТА на характер изменения динамической составляющей касательной силы лесохозяйственного МТА на базе трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме.

Для математического описания неустановившихся режимов функционирования МТА используем аппарат передаточных функций [1, 5], – передаточную функцию $\left| \Theta_{\dot{a}}^{\ddot{i}}(j\omega) \right|$, описывающую колебания трактора в продольно-вертикальной плоскости и передаточную функцию $|U_{11}(j\omega)|$ частоты вращения привода, полученные теоретически и экспериментально [1-3]. Входные воздействия для МТА: со стороны вырубki – неровности микрорельефа и неоднородность почвы, являющиеся причиной колебаний сил сопротивления $F_c(t)$ на ведущих звездочках; со стороны оператора – изменения положения органа $h(t)$, задающего величину цикловой подачи топлива.

Касательная сила МТА с гусеничным движителем в пахотном режиме $F_{\dot{e}}^{\ddot{i}}$ состоит из двух компонент. Регулярная компонента касательной силы $F_{\dot{e}1}^{\ddot{i}}$ затрачивается на преодоление регулярных сил сопротивления, а переменная компонента $F_{\dot{e}}^{\ddot{i}}(\omega)$ – на преодоление переменной составляющей нагрузки на ведущих звездочках и в силовой передаче:

$$F_{\dot{e}1}^{\ddot{i}} = g(m \cdot \sin \alpha + f_{\dot{o}\dot{e}} m_{\dot{o}} \cos \alpha) + m_{\dot{i}\dot{e}} g(\sin \alpha + f_{\dot{o}\dot{n}} \cos \alpha) + \dot{e}_1 (1 - \delta_s) ab + \left(\frac{\pi R}{30 i_{\dot{o}}} \right)^2 \xi ab n_o^2 + q_{\dot{e}} \delta_s ab; \quad (1)$$

$$F_{\dot{e}}^{\ddot{i}}(\omega) = F_{\dot{n}}^{\dot{a}} R \cdot [2 \dot{A}_3 \omega \cdot |U_{11}^2(j\omega)| + \dot{A}_4 \omega \cdot |U_{11}(j\omega)|] + f_{\dot{o}\dot{e}} \cdot \left| \Theta_{\dot{a}}^{\ddot{i}}(j\omega) \right|, \quad (2)$$

где g – ускорение свободного падения; m – масса МТА, $m = m_{\text{т}} + m_{\text{пл}}$; $m_{\text{т}}$ – масса трактора; $m_{\text{пл}}$ – масса плуга; α – угол подъема участка пути; $f_{\text{тк}}, f_{\text{тс}}$ – коэффициенты трения качения движителя и трения скольжения плуга о дно и стенку борозды, соответственно; $k_{\text{п}}$ – удельное сопротивление почвы; a, b – глубина обработки почвы и ширина захвата плуга; ξ – коэффициент динамичности; $q_{\text{к}}$ – удельное усилие для разрыва корней, находящихся в почве ($q_{\text{к}} = 2 \cdot 10^6 \dots 3 \cdot 10^6$ Н/м²); δ_s – часть площади поперечного сечения пласта, которая зависит от свойств древесной породы распространять корни в пахотном горизонте ($\delta_s = 0,01 \dots 0,05$); $F_{\dot{n}}^{\dot{a}}$ – величина амплитуды переменной составляющей нагрузки; R – радиус ведущих звездочек.

Подставляя в (2) значения $|U_{11}(j\omega)|$ и $\left| \Theta_{\dot{a}}^{\ddot{i}}(j\omega) \right|$, вычисляем амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) касательной силы тяги МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в пахотном режиме (рис. 1). Исходные данные для расчета [1-3]: $i_{\dot{o}} = 34,84$; $R = 0,238$ м; $\alpha = 3^\circ$; $m = m_{\dot{o}} + m_{\dot{i}\dot{e}}$; $m_{\dot{o}} = 10400$ кг; $m_{\dot{i}\dot{e}}$

$=520$ кг; $f_{TK}=0,18$; $f_{TC}=0,40$; $a=0,15$ м; $b=0,7$ м; $\kappa_{II}=6 \cdot 10^4$ Н/м; $\xi=2000$ кг/м³;
 $n_o=0,8n_n$; $n_n=1800$ мин⁻¹; $N_n=88$ кВт; $\delta_s=0,05$; $q_k=3 \cdot 10^6$ Н/м²; $F_{\dot{n}}^a=1920$ Н;
 $\eta_M=0,68$.

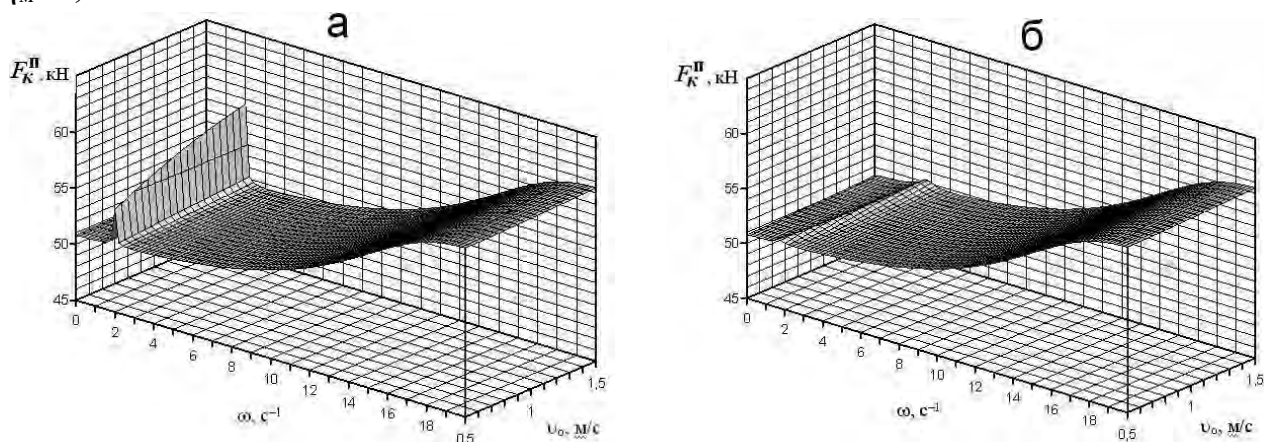


Рис. 1. Поверхности состояния АЧХ касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в пахотном режиме в зависимости от скорости движения при жесткости подвеса $c_1=1400$ кН/м: а – при штатной комплектации трактора; б – с гасителями колебаний остова МТА и КУ дизеля

Для вычисления регулярной (средней) и динамической составляющих касательной силы делаем сечение в продольно-вертикальной плоскости (вдоль оси абсцисс) (рис. 2) при фиксированном значении регулярной скорости v_0 движения МТА и по всему диапазону частот ω колебаний нагрузки на ведущих звездочках. В качестве примера рассмотрим характер изменения динамической составляющей касательной силы $F_{\dot{e}}^i(\omega)$ при скорости МТА $v_0=1,02$ м/с (3-я передача).

АЧХ касательной силы (рис. 2, кривая 1) в пахотном режиме имеет два экстремума при собственных частотах 2,5 и 19,0 с⁻¹. Динамическая нагруженность при этих частотах соответственно равна 34,2 и 19,0 кН. Первая частота $\omega_c=2,5$ с⁻¹ соответствует собственной частоте колебаний частоты вращения двигателя, вторая – частоте колебаний подрессоренной массы МТА в продольно-вертикальной плоскости.

Для согласования динамических характеристик нагрузочного и скоростного режимов работы МТА с характеристиками систем регулирования скорости, подачи топлива в камеру сгорания и смазочного масла к парам трения двигателя предлагается использовать в этих системах корректирующие устройства (КУ) – гасители колебаний [1, 2].

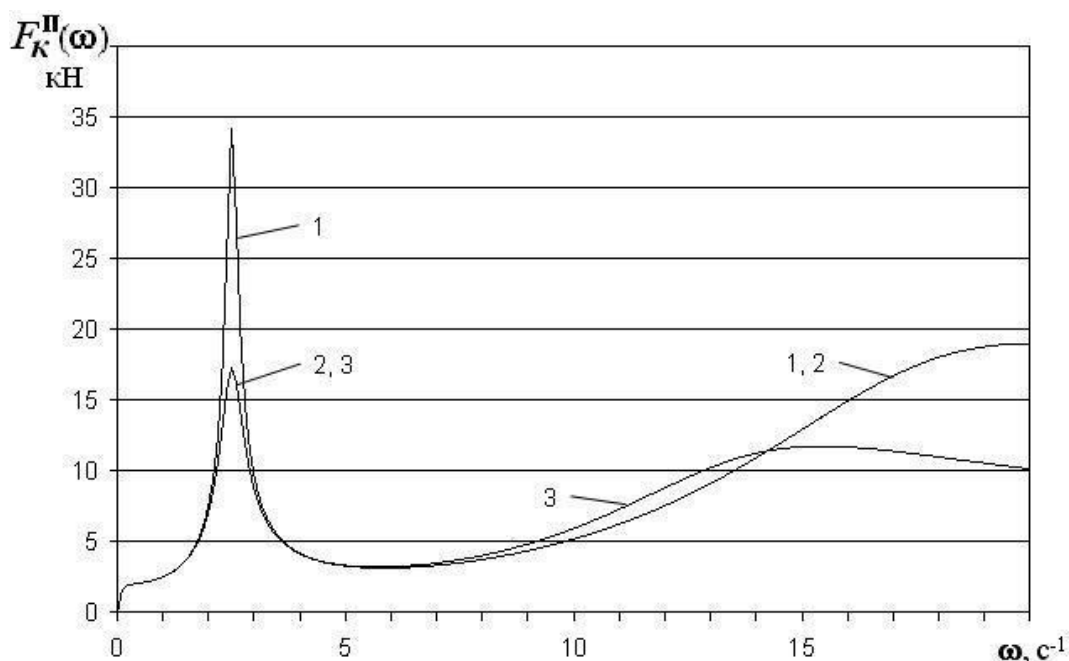


Рис. 2. АЧХ касательной силы МТА "ЛХТ-100 + плуг ПКЛ-70-4" в пахотном режиме (на 3-й передаче): 1 – при штатной комплектации трактора ($c_1=1400$ кН/м); 2 – при $c_1=1400$ кН/м, с гасителями колебаний в системе подрессоривания МТА и КУ дизеля; 3 – при $c_1=840$ кН/м, с гасителями колебаний МТА и КУ дизеля

Например, гаситель колебаний рейки топливного насоса был разработан [1] для того, чтобы уменьшить амплитуду колебаний рейки и отрицательное действие гидродинамической силы на качество процесса регулирования скорости. КУ в системе смазки улучшает смазочный режим за счет изменения фазового запаздывания приращению давления масла в главной масляной магистрали с -180° до -45° [1, 2].

Установка гасителей колебаний МТА и КУ дизеля способствует снижению амплитуды при $\omega_c = 2,5$ с $^{-1}$ с 34,2 до 17,3 кН (рис. 2, кривая 2). Амплитуда при частоте 19,0 с $^{-1}$ остается без изменений, так как на ее величину влияет жесткость подрессоривания. Снижение суммарной жесткости подрессоривания на 40% и установка гасителей колебаний в систему подрессоривания МТА и КУ дизеля способствуют снижению амплитуды при собственной частоте $\omega_c = 15,4$ с $^{-1}$ до 11,8 кН (рис. 2, кривая 3). Очевидно, что с изменением суммарной жесткости подрессоривания и установкой гасителей колебаний снижаются не только амплитуды, но и понижаются собственные частоты колебаний подвеса МТА в продольно-вертикальной плоскости (рис. 2, кривая 3).

Заключение.

При детерминированном возмущении в транспортном и пахотном режимах, снижение жесткости подрессоривания на 40%, в штатной комплектации трактора, способствует увеличению динамической составляющей касательной силы на 4,2% и 18,0%, соответственно. С гасителями колебаний остова МТА и КУ дизеля динамическая составляющая снижается на 11,5% и 5,6%, соответственно.

Библиографический список

1. Антипин, В.П. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата/В. П. Антипин, М. Я. Дурманов, Г. В. Каршев – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 484 с.
2. Дурманов, М.Я. Оценка динамической нагруженности силовой передачи лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на стадии проектирования / М.Я. Дурманов, О.А. Михайлов, С.В. Спиридонов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2017 / отв. ред. В.А. Соколова - СПб: СПбГЛТУ, 2018. – С.174-183. DOI:10.21266/SPB FTU.2018.NTK.1
3. Власов, Е.Н. Определение количества энергии, затрачиваемой на реализацию касательной силы трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме / Е.Н. Власов, О.А. Михайлов, М.Я. Дурманов [и др.] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 212.- СПб.: СПбГЛТУ, 2015.- С. 104-112.
4. Барский, И. Б. Динамика трактора / И.Б. Барский, В. Я. Анилович, Г. М. Кутьков – М.: Машиностроение, 1973. – 280 с.
5. Деруссо, П. Пространство состояний в теории управления / П. Деруссо, Р. Рой, Ч. Клоуз – М.: Наука, 1970. – 620 с.

Сведения об авторах

ФИО	Дурманов М.Я.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3809-9956
e-mail	Durmanov130266@rambler.ru
ФИО	Мартынов Б.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lgkm@spbftu.ru

ФИО Михайлов О.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4681-4898
e-mail kerro07@mail.ru

ФИО Спиридонов С.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9649-6007
e-mail svslta@yandex.ru

ФИО Тарадин Г.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5247-6595
e-mail grisha190@mail.ru

Аннотация

В работе исследуется характер изменения динамической составляющей касательной силы тяги лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА) при пахотном режиме функционирования и детерминированном характере изменения нагрузки на ведущих звездочках трактора. Метод основывается на использовании метода сечений поверхности состояния амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) касательной силы. Расчеты выполнены для МТА на базе гусеничного трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4.

Ключевые слова: лесохозяйственный агрегат, касательная сила, динамическая составляющая, детерминированное возмущение, метод сечений.

УДК 630*375.4

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.01.77; 55.42.03; 55.57.29; 68.01.77; 68.29.15; 68.85.29

Оценка динамической нагруженности элементов трансмиссии лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата

Дурманов М.Я., Мартынов Б.Г.,
Михайлов О.А., Спиридонов С.В., Тарадин Г.С.

Введение.

Для определения оптимальных конструктивных параметров элементов силовой передачи лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА) необходимо знать частотные характеристики касательной силы тяги, в зависимости от частоты колебаний нагрузки на ведущих звездочках и скорости движения [1,2]. Количество энергии, затрачиваемой на реализацию касательной силы МТА в пахотном режиме, определяется поверхностью состояния амплитудно-частотной характеристики (АЧХ) касательной силы [2]. Энергозатраты влияют не только на показатели эксплуатационной эффективности МТА, но и на динамическую нагруженность дизеля и силовой передачи, а следовательно определяют ресурсные показатели их элементов [1].

Целью исследования является оценка динамической составляющей касательной силы и динамической нагруженности силовой передачи лесохозяйственного МТА на базе трактора ЛХТ-100 в пахотном режиме. Для решения этой задачи была разработана вычислительная модель функционирования МТА, позволяющая на стадии проектирования определять значения показателей эксплуатационной нагруженности и согласовывать их с конструктивными параметрами.

Задача исследования заключается в определении динамической составляющей касательной силы тяги и динамической нагруженности в силовой передаче МТА.

Регулярная компонента касательной силы $F_{\hat{e}i}^i$, затрачиваемая на преодоление регулярных сил сопротивления, определяется формулой:

$$F_{\hat{e}i}^i = g(m \cdot \sin \alpha + f_{\hat{o}e} m_{\hat{o}} \cos \alpha) + m_{\hat{i}e} g(\sin \alpha + f_{\hat{o}n} \cos \alpha) + \\ + \hat{e}_i (1 - \delta_s) ab + \left(\frac{\pi R}{30i_{\hat{o}}}\right)^2 \xi ab n_o^2 + q_e \delta_s ab; \quad (1)$$

где g – ускорение свободного падения; m – масса МТА, $m = m_T + m_{пл}$; m_T – масса трактора; $m_{пл}$ – масса плуга; α – угол подъема участка пути; $f_{тк}$, $f_{тс}$ – коэффициенты трения качения движителя и трения скольжения плуга о дно и стенку борозды, соответственно; $\kappa_{п}$ – удельное сопротивление почвы; a , b – глубина обработки почвы и ширина захвата плуга; ξ – коэффициент динамичности; q_k – удельное усилие для разрыва корней,

находящихся в почве; δ_s – часть площади поперечного сечения пласта, которая зависит от свойств древесной породы распространять корни в пахотном горизонте; R – радиус ведущих звездочек; i_{δ} – передаточное число трансмиссии.

Динамическая нагруженность в силовой передаче МТА в спектре частот $\omega = 0 \dots 30 \text{ с}^{-1}$ и динамическая составляющая касательной силы в спектре частот $\omega = 0 \dots 12 \text{ с}^{-1}$ определяются по формуле (при $s = j\omega$):

$$F_{\hat{e}}^{\ddot{i}}(\omega) = \frac{F_{\hat{n}}^a R}{\omega_{\hat{n}i}} (2A_3 + A_4) \cdot \int_0^{\omega} |U_{11}(j\omega)| \cdot d\omega + \frac{f_{\delta\hat{e}}}{\omega_{\hat{n}i}} \cdot \int_0^{\omega} |\Theta_{\hat{a}}^{\ddot{i}}(j\omega)| \cdot d\omega \quad (2)$$

где $F_{\hat{n}}^a$ – величина амплитуды переменной составляющей нагрузки;

$A_3 = \left(\frac{\pi R}{30i_{\delta}}\right)^2 \xi_{ab}$; $A_4 = \frac{\pi R}{30i_{\delta}} m$; $\omega_{\hat{n}i}$ – собственная низшая частота процесса;

$U_{11}(j\omega)$ – передаточная функция частоты вращения коленчатого вала дизеля;

$\Theta_{\hat{a}}^{\ddot{i}}(j\omega)$ – передаточная функция колебаний подрессоренной массы МТА в продольно-вертикальной плоскости при пахоте.

Очевидно [1], что функционирование дизелей МТА реализуется на регуляторной ветви скоростной характеристики. Поэтому дизель можно рассматривать как линейный объект управления [3], что значительно упрощает решение задачи энергозатрат.

Для математического описания неустановившихся режимов функционирования МТА используем аппарат передаточных функций [3]. Входные воздействия для МТА: со стороны пашни – неровности микрорельефа и неоднородность почвы, являющиеся причиной колебаний сил сопротивления $F_c(t)$ на ведущих звездочках; со стороны оператора – изменения положения органа $h(t)$, задающего величину цикловой подачи топлива.

Передаточные функции по возмущающему воздействию (при $h_0 = \text{const}$):
– частоты вращения энергосиловой установки МТА:

$$U_{11}(s) = \frac{\kappa_{д1} (T_2^2 s^2 + 2T_2 \xi_1 s + 1)}{(T_1 s + 1)(T_3^2 s^2 + 2T_3 \xi_2 s + 1)(T_4 s + 1)} \quad (3)$$

где $\kappa_{д1}$ – коэффициент передачи частоты вращения; T_1, T_2, T_3, T_4 – постоянные времени; ξ_1, ξ_2 – коэффициенты затухания;

– колебаний остова МТА в продольно-вертикальной плоскости в пахотном режиме, при $s = j\omega$ [2]:

$$\left| \Theta_{\hat{a}}^{\ddot{i}}(j\omega) \right| = k'_0 c_1 \omega^2 \sqrt{\frac{[\mu_0 m_1 m_2 \omega^2 (\frac{1}{\tau \lambda_1} - 1) + c_1 (m' + \frac{1}{\tau \lambda_1} m'')]^2 + [\mu_0 m_1 m_2 \omega^4 - \omega^2 (m_1 c_1 + m_2 c_1 + \beta_1^2) + c_1^2]^2}{+ \omega^2 \beta_1^2 (m' - \frac{1}{\tau \lambda_1} m'')^2}} \dots} \quad (4)$$

$$\dots \frac{+ \omega^2 [\beta_1 (c_1 - m_2 \omega^2) - \beta_1 (c_1 - m_1 \omega^2)]^2}{\dots}$$

где $k'_0 = \cos(2\pi l_{\hat{e}}/l_1) \approx 0,7$; l_k – расстояние между осями кареток; l_n – длина неровности микрорельефа пашни; c_1 – жесткость подрессоривания опор, $c_1=1400$ кН/м; ω – частота повторения неровности, $\omega = 2\pi v / l_n$; v – скорость движения МТА; β_1 – параметр демпфирования, $\beta_1 = 2v_{\text{п}} \sqrt{c_1 m}$; $v_{\text{п}}=0,3$;

$$\mu_1 = 1 - \frac{m_0}{m_1 + m_2} = 0,66; \quad m_0 = \frac{I_c - m_{\text{тп}} l_1 l_2}{l^2} = 5544,5 \text{ кг}; \quad m_1 = \frac{I_c + m_{\text{по}} l_2^2}{l^2} = 9599,2 \text{ кг};$$

$$m_2 = \frac{I_c + m_{\text{зо}} l_1^2}{l^2} = 7003,7 \text{ кг};$$

$m_{\text{тп}}$ – подрессоренная масса трактора, $m_{\text{тп}}= 8400$ кг; $m_{\text{по}}$ – масса трактора, приходящаяся на ось передних кареток, $m_{\text{по}}= 4400$ кг; $m_{\text{зо}}$ – масса трактора, приходящаяся на ось задних кареток, $m_{\text{зо}}= 4000$ кг; l – межосевое расстояние, $l = l_1 + l_2 = 1,75$ м; $l_1 = 0,31$ м; $l_2 = 1,44$ м; I_c – момент инерции системы, $I_c \approx m_{\text{тп}} l_1 l_2$, $I_c = 23936$ кг·м²; $m' = m_0 + m_1$; $m'' = m_0 + m_2$; $\tau = l/v$; λ_n – доминирующая низшая частота собственных колебаний остова трактора.

Для МТА с дизелем СМД-20Т.04: $\kappa_{д1} = 1,80$ (Н·м·мин)⁻¹; T_1 – постоянная

времени МТА, $T_1 = \frac{\pi}{30} \left(I_d + \frac{mR^2}{i_t^2} \right) \frac{n_n^2}{N_n}$; $T_2 = 0,531$ с⁻¹; $T_3 = 0,398$ с⁻¹; $T_4 = 0,354$ с⁻¹; $\xi_1 = 0,30$; $\xi_2 = 0,25$; I_d – приведенный момент инерции дизеля, $I_d=2,4$ кг·м²; n_n – номинальная частота вращения коленчатого вала дизеля; N_n – номинальная мощность дизеля [2].

Подставляя в (2) значения $|U_{11}(j\omega)|$ (3) и $|\Theta_{\hat{a}}^{\ddot{i}}(j\omega)|$ (4), определяем динамическую составляющую касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в пахотном режиме: $i_{\hat{o}}=34,84$; $R=0,238$ м; $\alpha=3^\circ$; $m = m_{\hat{o}} + m_{\hat{i}\ddot{e}}$; $m_{\hat{o}}=10400$ кг; $m_{\hat{i}\ddot{e}}=520$ кг; $f_{\text{тк}}=0,18$; $f_{\text{тс}}=0,40$; $a=0,15$ м; $b=0,7$ м; $\kappa_{\text{п}}=6 \cdot 10^4$ Н/м; $\xi=2000$ кг/м³; $n_o=0,8n_n$; $n_n=1800$ мин⁻¹; $N_n=88$ кВт; $\delta_s=0,05$; $q_k=3 \cdot 10^6$ Н/м²; $F_{\hat{n}}^{\hat{a}}=1920$ Н; $\eta_{\text{м}}=0,68$.

Динамическая составляющая касательной силы МТА рассчитывалась для варьируемых конструктивных параметров жесткости подвеса трактора $c_1=1400$ и 840 кН/м, и установке корректирующих устройств (КУ) в топливный насос высокого давления и главную масляную магистраль (ГММ) дизеля [1]. В качестве первого корректирующего устройства использовался гаситель колебаний рейки топливного насоса (РТН), позволяющий снизить амплитуду колебаний рейки и отрицательное действие гидродинамической силы на качество процесса регулирования скорости. Второе корректирующее устройство устанавливалось в ГММ и позволяло улучшить смазочный режим за счет изменения фазового запаздывания приращения давления масла в ГММ с -180° до -45° [1], уменьшив амплитуду колебаний момента механических потерь и величину сил трения.

Заключение.

Динамическая нагруженность в силовой передаче МТА, в штатной комплектации ($c_1=1400$ кН/м), в спектре частот $\omega = 0...30$ с $^{-1}$ равна 140 кН; при $c_1=840$ кН/м с установленными гасителями колебаний в системе подрессоривания, РТН и КУ в ГММ дизеля – 98 кН.

Динамическая составляющая касательной силы в низкочастотном спектре, ограниченном инерционностью масс МТА и дизеля, вычислена при $c_1=1400$ кН/м – в штатной комплектации; при $c_1=1400$ кН/м и 840 кН/м – с гасителями колебаний в системе подрессоривания, РТН и КУ в ГММ дизеля. Результаты вычислений динамической составляющей касательной силы сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Результаты расчета динамической составляющей и эффективно реализуемой касательной силы МТА на базе трактора ЛХТ-100 с плугом ПКЛ-70-4 в пахотном режиме при детерминированном входном возмущении

Установка гасителей колебаний остова МТА и КУ дизеля	Динамическая составляющая касательной силы $F_{\hat{e}}^{\ddot{i}}(\omega)$, кН		Эффективно реализуемая касательная сила, кН, $F_{\hat{e}\hat{y}}^{\ddot{i}} = F_{\hat{e}\hat{i}}^{\ddot{i}} - F_{\hat{e}}^{\ddot{i}}(\omega)$	
	$c_1 = 1400$ кН/м	$c_1 = 840$ кН/м	$c_1 = 1400$ кН/м	$c_1 = 840$ кН/м
отсутствуют	10,14	11,98	37,79	35,95
имеются	7,75	9,60	40,18	38,33

Библиографический список

1. Антипин, В.П. Производительность, энергозатраты и ресурс машинно-тракторного агрегата/В.П. Антипин, М. Я. Дурманов, Г. В. Каршев – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – 484 с.

2. Дурманов, М.Я. Оценка динамической нагруженности силовой передачи лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на стадии проектирования / М.Я. Дурманов, О.А. Михайлов, С.В. Спиридонов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2017 / отв. ред. В.А. Соколова - СПб: СПбГЛТУ, 2018.- С.174-183. DOI:10.21266/SPBFTU.2018.NTK.1
3. Крутов, В. И., Основы теории автоматического регулирования / В.И. Крутов, Ф. М. Данилов, П.К. Кузьмик [и др.]. – М.: Машиностроение, 1984. – 368 с.

Сведения об авторах

ФИО	Дурманов М.Я.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3809-9956
e-mail	Durmanov130266@rambler.ru
ФИО	Мартынов Б.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lgkm@spbftu.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru

ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru

Аннотация

В работе рассматривается метод определения динамической составляющей и эффективно используемой касательной силы тяги лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата (МТА) при пахотном режиме функционирования и детерминированном характере изменения нагрузки на ведущих звездочках трактора. Метод основывается на использовании аппарата передаточных функций, позволяющий также определить динамическую нагруженность в силовой передаче МТА. Расчеты выполнены для МТА на базе гусеничного трактора ЛХТ-100.

Ключевые слова: лесохозяйственный агрегат, касательная сила, детерминированное возмущение, динамическая нагруженность, силовая передача.

УДК 630*375.4

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.01.77; 55.42.03; 55.57.29; 68.01.77; 68.29.15; 68.85.29

Привод на технических мышцах для машин и оборудования лесного комплекса

Кизилев А.Б., Буслаев В.В., Зайцев В.В.

Введение.

Развитие средств автоматизации в последние десятилетия привело к разработкам приводов новых типов и применению их в лесной промышленности [1]. В частности, активизировалось создание приводов на базе мускулоподобных устройств, к которым относятся и волоконно-сорбционные технические мышцы (ТМ) [2]. Основными элементами привода являются механические звенья и антагонистическая пара волоконно-сорбционных мышц.

Содержание.

Цель исследования – проработка принципов управления техническими мышцами, обеспечивающих отработку требуемых характеристик привода. Перспективной задачей исследования – создание мускулоподобного привода для

частичной замены электромагнитов, гидравлических и пневматических приводов в машинах и оборудовании лесного комплекса.

Требования к параметрам технических мышц с известными физическими свойствами можно сформулировать при условии, что для заданных технологий указанные законы разработаны и реализуемы [3]. Антагонистическая пара волоконно-сорбционных мышц развивает силу:

$$Q = k_z \left[\frac{k_l}{\tau} \int_0^\tau (I_1^2 - I_2^2) R dt - 2l \right] \quad (1)$$

где I_1 и I_2 – электрические токи, потребляемые адсорбентами первой и второй мышц; R – электрическое сопротивление адсорбента; l – положение выходного элемента привода, фиксируемое одновременно с силой Q ; k_z – коэффициент продольной жесткости пары мышц; k_l – коэффициент пропорциональности между приращением силы Q и средней разностью мощностей нагрева адсорбентов; $\tau = t + T$; t – время, $T = \text{const}$ – запаздывание в изменении силы Q .

Выделим два способа воздействия на токи I_1 , I_2 сигналом выхода устройства управления U_v , входящего в структуру системы привода:

$$\begin{aligned} I_1 &= \frac{k_v}{R} U_s F_u, & I_2 &= \frac{k_v}{R} U_s (1 - F_u), \\ 1. \quad I_1^2 - I_2^2 &= \frac{k_v^2}{R^2} U_s^2 (s F_u - 1), \\ F_u &= 0 \text{ при } U_s \leq 0, & F_u &= 1 \text{ при } U_s > 0, \\ 2. \quad I_1 &= \frac{k_v}{R} U_s, & I_2 &= \frac{1}{R} (U_n - k_v U_s), \\ I_1^2 - I_2^2 &= \frac{U_n}{R^2} (2k_v U_s - U_n) \end{aligned}$$

где k_v – коэффициент передачи усилителя мощности или транзисторного широтно-импульсного преобразователя, F_u – переключательная функция, U_n – напряжение источника питания электрической цепи адсорбента. Первый соответствует потреблению тока в любой момент времени только одной мышцей.

При втором способе токи I_1 , I_2 протекают одновременно, причем $U_s \min = 0$, $U_s \max = U_n/k_v$. Для режима отработки заданного положения l_s выходного элемента привода наилучшим процессом назовем такой процесс, которому соответствует соотношение:

$$\sigma = l_s - l + k_0 (l_s^{(1)} - l^{(2)}) = 0 \quad (2)$$

где $k_0 = \text{const} > 0$.

При отсутствии внешней силы Q_{w1} , деформирующей пару мышц, сила $Q = 0$. Из формулы силы Q (1) получаем:

$$l^{(1)} = \frac{k_1}{2(t+T)} [(I_1^2 - I_2^2)R - P_c], \quad (3)$$

где $P_c = \frac{1}{t+T} \int_0^T (I_1^2 - I_2^2)R dt$ – средняя разность мощностей нагрева адсорбентов мышц, которая устанавливается с запаздыванием T , характеризующим тепловую инерционность объекта управления – пары мышц.

Предположим, что в режиме обработки позиций производная $l_s^{(1)} = 0$. Тогда после объединения (2) и (3) приходим к наилучшему соотношению:

$$\sigma = l_s - l + \frac{k_0 k_l}{2} \times \frac{P_c - (I_1^2 - I_2^2)R}{t+T} = 0 \quad (4)$$

Целью управления парой мышц в каждый момент времени является поддержание соотношения (4), полученного при $Q_w = 0$.

Чувствительность системы привода к разности $l_s - l$ тем выше, чем больше сумма $t + T$. Кроме того, влияние внешней силы Q_w на процесс поддержания соотношения (4) снижается при увеличении $t + T$, так как процесс идет более интенсивно. Поэтому целесообразно заменить сумму $t + T$ некоторым положительным числом.

Предлагаем упрощенный закон управления парой мышц в режиме обработки положений, когда внешняя сила $Q_w \neq 0$

$$U_s = k_1 \int_0^1 (F_\sigma + F_q) dt \quad (5)$$

Здесь $F_\sigma = 1$, если $\sigma = l_s - l + k_\sigma [P_c - (I_1^2 - I_2^2)R] > \sigma_N$;

$F_\sigma = -1$, если $\sigma < -\sigma_N$

$F_\sigma = 0$, если $|\sigma| \leq \sigma_N$

$\sigma_N = const > 0$ – пороговый уровень;

$k_1 > 0$ и $k_\sigma > 0$ – коэффициенты, настраиваемые экспериментально;

$F_q = 0$, если $-\Delta Q \leq Q - Q_s \leq \Delta Q_s$

$F_q = -1$, если $Q - Q_s > \Delta Q_s$

$F_q = 1$, если $Q - Q_s < -\Delta Q_s$

Q_s – заданный уровень силы привода; ΔQ_s – заданное допустимое по абсолютной величине отклонение от уровня Q_s в любую сторону.

Сигнал, характеризующий величину P_c , можно получить на выходе апериодического звена, ко входу которого поступает сигнал, пропорциональный величине $(I_1^2 - I_2^2)R$. Постоянная времени апериодического звена отражает тепловую инерционность объекта управления.

Для режима отработки заданной силы Q_s в качестве наилучшего процесса выберем процесс, которому соответствует соотношение:

$$\gamma = Q_s - Q + k (Q_s^{(1)} - Q^{(1)}) = 0 \quad (6)$$

где $k = const < 0$.

Предположим, что в режиме отработки сил $Q_\tau^{(1)} = 0$. Производную $Q^{(1)}$ получаем, продифференцировав силу $Q(1)$. Соотношение (6) преобразуется к виду:

$$\gamma = Q_s - Q + kk_z l \frac{P_c - (I_1^2 - I_2^2)R}{t + T} + 2kk_z l^{(1)} = 0 \quad (7)$$

Чувствительность системы привода к разности $Q_s = Q$ возрастает, если $t + T$ заменить на наибольшую возможную константу, а $I^{(1)}$ приравнять нулю в соотношении (7). Предлагаем упрощённый закон управления парой мышц в режиме отработки сил:

$$U_s = k_2 \int_0^t (F_y + F_l) dT \quad (8)$$

где $F_y = 1$, если $\gamma = Q_\tau - Q + k_y [P_c - (I_1^2 - I_2^2)R] > \gamma_n$

$F_y = -1$, если $\gamma < -\gamma_n$

$F_y = 0$, если $|\gamma| \leq -\gamma_n$

$\gamma_n = const > 0$ – пороговый уровень; $k_2 > 0$ и $k_\gamma > 0$ – коэффициенты, настраиваемые экспериментально;

$F_l = 0$, если $-\Delta l_s \leq l - l_s \leq \Delta l_s$

$F_l = -1$, если $l - l_s > \Delta l_s$

$F_l = 1$, если $l - l_s < -\Delta l_s$

l_s – заданный уровень положения выходного элемента привода; Δl_s – заданное допустимое по абсолютной величине отклонение от уровня l_s в любую сторону.

Большому множеству технологий удовлетворяет обобщенный закон управления парой мышц, составленный на основе законов (5) и (8):

$$U_s = [W_1 + (1 - W_1)W_2W_3W_4]k_1 \int_0^t (F_o + F_q) dt + \\ + [1 - W_1W_2W_3W_5]k_2 \int_0^t (F_\gamma + F_l) dt \quad (8)$$

Здесь W_1, W_2, W_3 - составляющие слова, поступающего к системе привода от устройства управления верхнего уровня:

$W_1 = 1$ в режиме отработки положений,

$W_1 = 0$ в режиме отработки сил,

$W_2 = 1$ при работе системы привода одновременно в двух режимах,

$W_2 = 0$ при несовместности двух режимов,

$W_3 = 1$ при однонаправленности режимов,

$W_3 = -1$ при ослаблении одного режима другим.

Сигнал $W_4 = 1$ в течение некоторого времени после резкого смещения выходного элемента привода в режиме отработки силы.

При отсутствии резкого смещения $W_4 = 0$. Сигнал $W_5 = 1$ в течение некоторого времени после резкого торможения привода, вызванного воздействием окружающей среды в режиме отработки положения. При отсутствии этого воздействия $W_5 = 0$.

В рассмотренных выше режимах измерение положения выходного элемента привода l производится с помощью потенциометра, а средняя разность мощностей нагрева адсорбентов мышц P_c – с помощью апериодического звена, управляемого разностью $I_1^2 - I_2^2$.

Сила Q вычисляется по формуле $Q = k_z k_l P_c - 2k_z l$.

При наличии датчиков температуры внутри или на поверхности мышц измерение P_c заменяем измерением разности температур. Тогда коэффициент k_l приобретает другой физический смысл.

Заключение

Проведённые исследования позволяют осуществить управление техническими мышцами, обеспечивающее эффективную отработку требуемых силовых параметров в приводных устройствах машин и оборудования лесного комплекса

Библиографический список

1. Кизилев А.Б. Перспективы внедрения технических мышц в машины и оборудование лесного комплекса // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2017 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018. № 1, с. 184-191.
2. Кизилев А.Б. Исследование основных характеристик оболочек технических мышц для транспортных машин и оборудования лесного комплекса // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе / Материалы всероссийской научно-практической конференции. / Под. ред. В.М. Гедько, Т.В. Коваленко. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 29 с.
3. Кизилев А.Б., Котков П.М. Управление техническими мышцами в машинах и оборудовании лесного комплекса // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. № 1, с. 242-246.

Сведения об авторах

ФИО	Кизилев А.Б.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8407-7024
e-mail	andreykiz@yandex.ru

ФИО Буслаев В.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail v.makorbi@gmail.com

ФИО Зайцев В.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail Vasek1684@mail.ru

Аннотация

Технические мышцы во многих случаях могут заменить гидравлический и пневматический привод в машинах и оборудовании лесного комплекса. Управление силовыми параметрами технических мышц потребовало проведения дополнительных исследований.

Ключевые слова: техническая мышца, привод, лесной комплекс.

УДК 621.865:669.018.2

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.30.29

Методика определения характеристик рабочего органа газонокосилки

**Буланов С.М., Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В.,
Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Пушков Ю.Л.**

Введение.

В последние годы все более широкое применение находят так называемые средства малой механизации при выполнении садово-парковых работ в городах, на приусадебных участках граждан и при различных ландшафтных работах.

При создании новых и модернизации существующих газонокосилок очень важно определить параметры режущего органа. Поэтому на стадии проектирования необходимо знать условия взаимодействия рабочего органа с предметом труда.

Содержание газонов в городских условиях – это комплекс агротехнических мероприятий, создающих оптимальные условия для роста и развития дернообразующих трав. Одним из важнейших мероприятий является периодическое скашивание травостоя на установленную высоту. Для этих целей применяются газонокосилки с плоско вращательным рабочим органом (рис. 1).

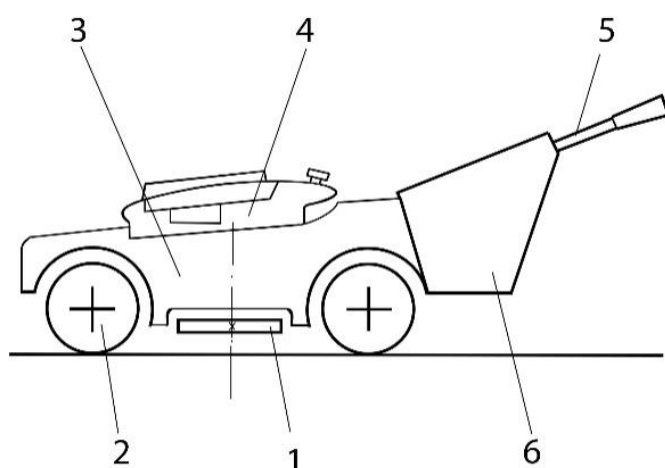


Рис. 1. Газонокосилка VikingMB – 650T: 1 – рабочий орган (нож); 2 – ходовая часть; 3 – корпус; 4 – двигатель; 5 – рукоятка управления; 6 – травосборник.

На рабочем органе создаётся сила резания $P_{рез}$, которая преодолевает силу сопротивления стеблей резанию $P_{сопр}$ (рис. 2).

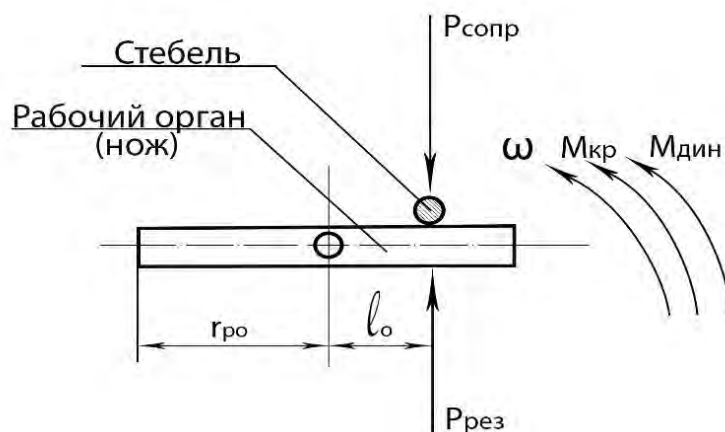


Рис. 2. Расчётная схема

Рабочие органы современных газонокосилок вращаются с частотой $3500...4500 \text{ мин}^{-1}$. При такой высокой частоте вращения стебель в момент контакта с рабочим органом (ножом) машины незначительно отклоняется от первоначального положения на величину Δ (рис. 3.) или вообще не успевает отклониться ($\Delta = 0$).

Как показывают исследования, проведенные в Академии коммунального хозяйства им. К. Д. Памфилова, скорость резания $v_{рез}$ не должна быть ниже определенного значения $v_{кр}^{min}$. Скорость $v_{кр}^{min}$ – это, так называемая, критическая скорость резания, при которой перерезание стебля возможно только при наличии противорезающего подпорного элемента и значения нижней критической скорости резания лежат в пределах 40...43 м/с.

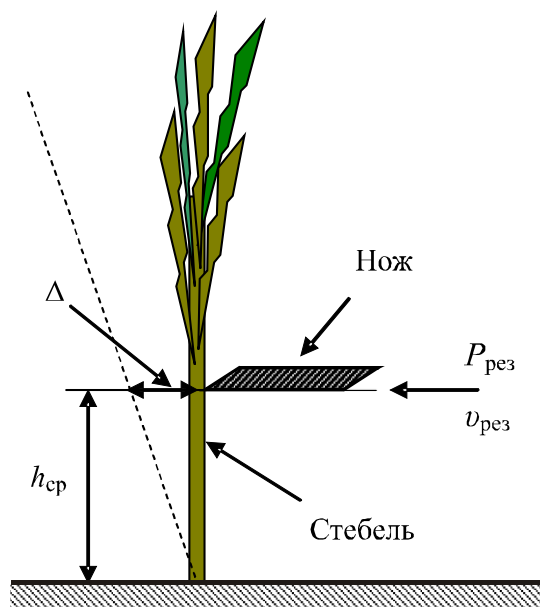


Рис. 3. Схема взаимодействия ножа со стеблем: Δ – отклонение стебля; $h_{ср}$ – высота резания стебля; $P_{рез}$ – сила резания стебля рабочим органом; $v_{рез}$ – скорость резания

При контакте лезвия ножа со стеблем без подпорного элемента возникают два вида деформации: изгиб и растяжение. Если учесть, что величина отклонения стебля Δ незначительна (или отсутствует совсем), то изгиб не влияет на разрушение стебля. В таком случае, остается только один вид деформации – растяжение. На рис. 4. показан процесс взаимодействия травяного стебля с рабочим органом газонокосилки.

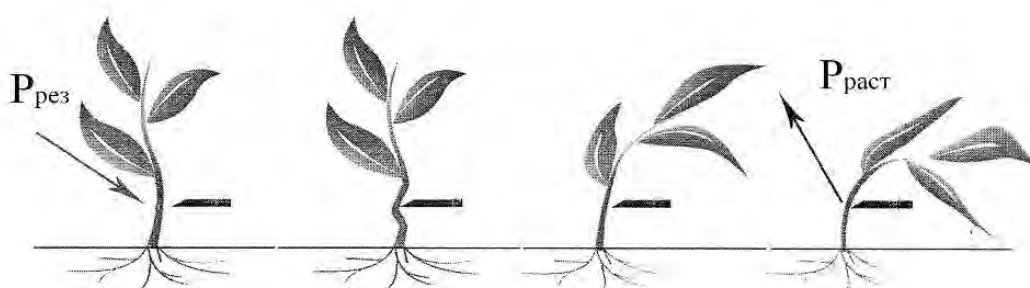


Рис. 4. Деформация стебля при взаимодействии с плосковращательным рабочим органом газонокосилки

В Санкт-Петербургском лесотехническом университете на кафедре Проектирования лесных машин проводились экспериментальные исследования определения силы сопротивления стебля растяжению $P_{сопр}$ (рис. 4), которая возникает при срезании стебля рабочим органом. При этом не учитывались процессы, возникающие в структуре стебля. Исследования проводились на стационарной установке. Основные данные установки приводятся ниже [1, 2]:

Номер по Госреестру: 31920-06

Модель: ИР 5062 – 0,5

Наименование: Машина разрывная

Класс: СИ 28.04

Для определения параметров стебля применялся индикаторный толщиномер с ценой деления 0,01мм типа ТР 25-400.

Исследования проводились с травяными стеблями, имеющими параметры:

- порода – мятлик луговой;
- масса одного стебля – 0,37...0,40 г;
- форма – плоский стебель;
- толщина – 0,1 мм 0,12мм 0,14мм;
- ширина – 4,0 мм;
- длина – 250 мм.

Для качественной работы плосковращательного рабочего органа газонокосилки должно быть выполнено условие: $P_{рез} > P_{сопр}$.

Таблица 1. Зависимость силы сопротивления резанию стебля $P_{сопр}$ от толщины стебля $t_{ст}$

$t_{ст} = 0,10$ мм	$t_{ст} = 0,12$ мм	$t_{ст} = 0,14$ мм
$P_{сопр} = 16$ Н	$P_{сопр} = 18$ Н	$P_{сопр} = 21$ Н

Экспериментальные данные, полученные на лабораторной установке, широко используются, в учебном процессе. При незначительном усовершенствовании этой лабораторной установки для получения более достоверных значений действующих сил, эта методика может использоваться и в промышленных целях.

Заключение. Предложенная лабораторная установка и методика определения силы сопротивления $P_{сопр}$ предмета труда рабочему органу газонокосилки могут на стадии проектирования более точно определить характеристики ножа.

Библиографический список

1. Козьмин С.Ф. Механизация лесного хозяйства и садово-паркового строительства. Машины и механизмы: справочник. – СПб.: СПбГЛТА, 2006. – 408с.
2. Козьмин, С. Ф. Машины механизмы в ландшафтном строительстве.: методические указания для выполнения лабораторных работ/ сост. С. Ф. Козьмин. СПб.: СПбГЛТУ, 2016. - 136 с.

Сведения об авторах

ФИО	Буланов С.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sebume@yandex.ru
ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации

SPIN-код 5247-6595
e-mail grisha190@mail.ru

ФИО

Пушков Ю.Л.

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации

SPIN-код 5633-1797
e-mail pushkov_yura@mail.ru

Аннотация

Приведены материалы исследования силы сопротивления травяного стебля резанию. Составлена расчётная схема. Исследования проводились на разрывной машине ИР 5062-0,5. Параметры стебля определялись толщинометром индикаторным с ценой деления 0,01 мм. Получены данные сил сопротивления стебля резанию для стеблей толщиной 0,10 мм, 0,12 мм, 0,14 мм.

Ключевые слова: газонокосилка, рабочий орган (нож), исследования, травяной стебель, сила резания, сила сопротивления, вращательное движение, машина разрывная, толщиномер индикаторный.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.30.29

Повышение качества поверхностей при газопламенном напылении

Кретинин В.И., Теппоев А.В., Соколова В.С., Ефанов В.А.

Введение.

Газопламенное напыление является одним из перспективных технологических методов нанесения восстановительных и упрочняющих покрытий. Широкому внедрению этого способа напыления препятствует отсутствие системы управления качеством газопламенных покрытий. Для разработки технологии восстановления детали необходимо проведение научно-исследовательской работы по определению оптимальных режимов газопламенного напыления, что связано с отсутствием общей методики проектирования этого процесса.

Управление качеством газотермических покрытий включает в себя выбор технологических параметров процесса, влияющих на показатели качества

покрытий, и регулирование ими (стабилизация или изменение по заданной программе).

Типовой технологический процесс восстановления и упрочнения деталей газопламенным нанесением покрытий включает следующие операции: подготовка напыляемой поверхности, нанесение подслоя (при необходимости), напыление покрытия, обработка покрытия. Каждая технологическая операция характеризуется определенным количеством факторов, оказывающих влияние на свойства покрытий. Изучению влияния различных факторов на свойства покрытий посвящено много работ. В итоге пришли к выводу, что на качество напыленного слоя влияют более 60 различных факторов [1].

Методика исследования.

Качество покрытия характеризуется следующими свойствами: прочностью сцепления покрытия с основой, когезионной прочностью напыленного слоя, пористостью, равномерной толщиной покрытия, уровнем остаточных напряжений, однородностью структуры и свойств покрытия, рис. 1

Качество модели процесса напыления является не регламентируемым элементом, что вызвано недостаточной разработкой вопросов управления свойствами покрытий. Основным фактором, от которого зависит качество газопламенного покрытия, является точность математической модели процесса напыления, обеспечивающей стратегию и алгоритмы управления свойствами покрытий.

Для разработки принципов управления качеством газопламенных покрытий необходимо рассмотреть факторы и их влияние на качество напыляемых покрытий. При газопламенном напылении покрытия все факторы, влияющие на его качество, можно разделить на две группы.

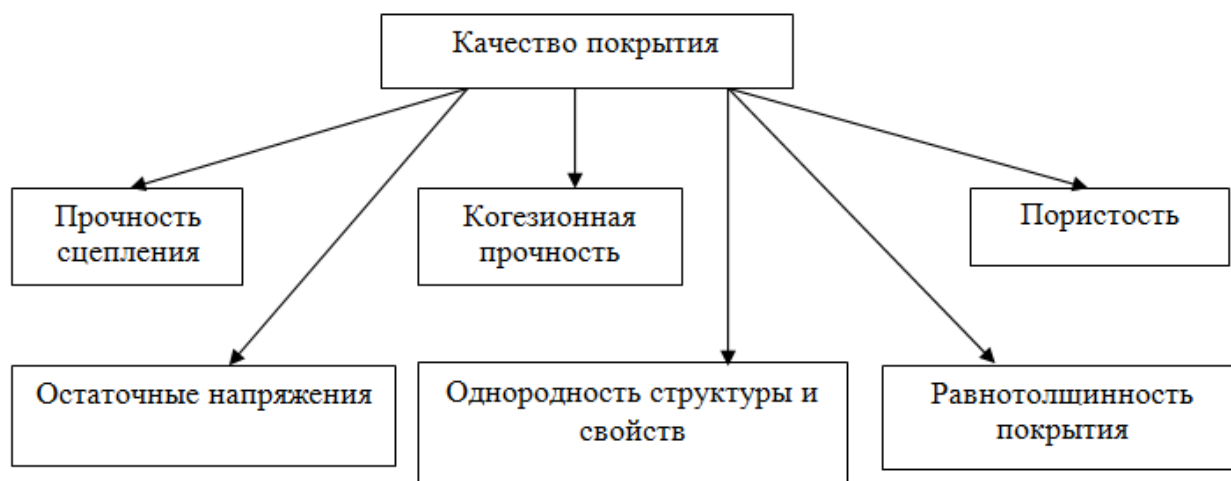


Рис. 1. Качество покрытия

К первой группе относятся факторы, определяющие параметры процесса газопламенного напыления: состав и расход горючей газовой смеси, свойства напыляемого материала, конструкция газопламенной горелки, скорость и

температура струи горючей газовой смеси, а также напыляемых частиц. Ко второй группе относятся: твердость и шероховатость напыляемой поверхности, дистанция напыления, температура основы, скорость перемещения напыляемой поверхности по отношению к горелке, условия охлаждения напыляемого покрытия, дополнительные воздействия на напыляемую деталь и покрытие. Обобщенная схема влияния факторов на показатели качества газопламенных покрытий и их связь с технологическими операциями напыления представлена на рис. 2.

Из обобщенной схемы рис. 2 видно, что от первой группы факторов зависят температура и скорость напыляемых частиц, которые достигают основы и определяют свойства покрытий. Постоянные величины температуры и скорости частиц достигаются стабильностью состава и расхода горючей газовой смеси, однородным фракционным составом напыляемого материала. Вторая группа факторов также влияет на все показатели качества покрытия. Поэтому повышение качества напыляемого покрытия может быть достигнуто с учетом комплексного влияния факторов первой и второй группы [2].

Вследствие неоднородности распределения по поперечному сечению газовой струи температурного и скоростного полей, напыляемый порошок нагревается не одинаково. В этой связи, периферийные частицы нагреваются недостаточно, и попадание их в покрытие приводит к снижению его качества. Для предотвращения этого явления применяют экраны и насадки к горелке различных конструкций. Прочность сцепления покрытия с основой зависит от слоя, находящегося в контакте с поверхностью детали. Поэтому необходимо, чтобы этот слой содержал по возможности меньше периферийных частиц. Их число зависит также от такого фактора, как скорость относительного перемещения газопламенной горелки и напыляемой поверхности. При недостаточной скорости нижний слой будет формироваться с большим количеством периферийных частиц. Поэтому, важным является правильный выбор скорости относительного перемещения.

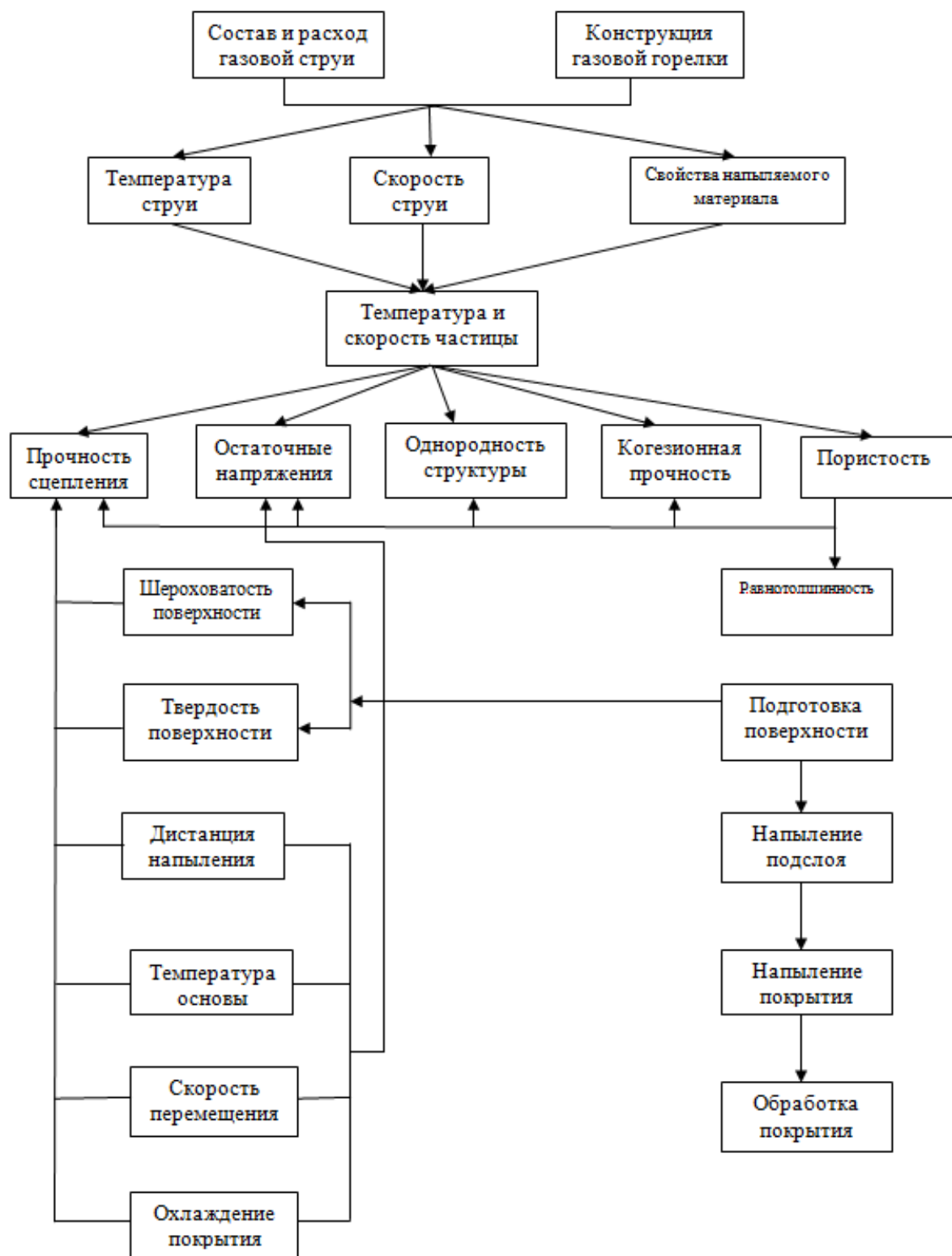


Рис. 2. Обобщенная схема влияния факторов на показатели качества газопламенных покрытий

Эффективным способом повышения прочности сцепления покрытия с основой является управление таким фактором, как охлаждение напыляемого покрытия с целью поддержания температуры основы в определенных пределах. Для этого применяют обдувку детали со стороны противоположной напылению сжатым воздухом, азотом, сжиженным углекислым газом, смесью сжатого

воздуха с водой и др. Предварительная подготовка напыляемой поверхности заключается в очистке ее от грязи, масел и создания определенной шероховатости. Повышение прочности сцепления покрытия с основой происходит за счет зацепления расплавленных частиц о микронеровности поверхности и увеличения площади взаимодействия. Так площадь поверхности после абразивно-струйной обработки в три раза больше площади поверхности до обработки. Важным фактором, влияющим на прочность сцепления напыляемого покрытия с основой, является величина промежутка времени между технологическими операциями подготовки поверхности и напылением покрытия. При разработке технологии напыления покрытий необходимо предусмотреть, чтобы этот промежуток времени был минимальным. Это позволит сохранить поверхность наиболее энергетически активной, что положительно скажется на прочности сцепления покрытия с основой [1].

В случае напыления покрытия из материала, значительно отличающегося от материала основы по коэффициенту термического расширения, например, керамики на металл, необходимо применять подслои из материала, который имеет промежуточное значение коэффициента термического расширения, что обеспечивает формирование более низкого уровня остаточных напряжений в переходной зоне покрытие-подслой-основа. В качестве материала подслоя обычно применяют порошки алюмината никеля или нихрома, как наиболее доступные и не дорогие.

Получение покрытий равной толщины и минимальной волнистости зависит от стабильности работы порошкового питателя и скорости относительного перемещения напыляемой поверхности и горелки.

Дополнительные воздействия на напыляемую деталь и покрытие позволяют целенаправленно повысить любой из показателей качества покрытия. Например, наложение колебаний на напыляемую деталь позволяет снизить уровень остаточных напряжений в покрытиях [3].

Заключение

В качестве выходных параметров обычно принимают прочность сцепления покрытия с основой, уровень остаточных напряжений, когезионную прочность, пористость, равнотолщинность, однородность структуры и свойств.

Управляющие воздействия можно объединить в три группы:

- параметры напыления (давление горючего газа – $P_{гг}$, давление кислорода – $P_{к}$, расход горючего газа – $Q_{гг}$, расход кислорода – $Q_{к}$, соотношение между горючим газом и кислородом – β)
- кинематические параметры (дистанция напыления – L , угол напыления – α , скорость перемещения горелки – V , скорость подачи горелки – S , скорость вращения заготовки – n).

– дополнительные воздействия (виброобработка, электроискровое легирование) [4].

Современный этап развития газотермических способов напыления характеризуется совершенствованием методов получения покрытий и комбинированием их с другими технологиями с целью повышения качества напыляемых покрытий и управления их свойствами, как при напылении, так и при последующей обработке. Возможны три варианта такого комбинирования: совмещение нескольких методов газотермического нанесения покрытий; применение при напылении приемов, не вносящих существенных изменений в схему процесса, но позволяющих улучшить свойства покрытий; дополнительная обработка покрытий. Наибольшее влияние на эти показатели оказывают температура и скорость напыляемых частиц, температура подложки и свойства среды.

Библиографический список

1. Пантелеенко Ф.И. и др. Восстановление деталей машин: Справочник под ред. Иванова В.П. – М.: Машиностроение, 2003. – 672 с.
2. Балдаев Л.Х. Газотермические напыления: учебное пособие. – М.: Маркет, - 2007. – 344 с.
3. Схиртладзе А.Г. Технологические основы ремонта и восстановления производственных машин и оборудования: учебник для вузов. - Йошкар-Ола: Изд-во ПГТУ, -2012. - 492 с.
4. Kretinin V.I. Methods for assessing the strength of the blades of soil-cutting parts of forestry machines. /Kretinin V.I., Sokolova V.A., Markov V.A., Teppoev A.V.//Всборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Krasnoyarsk Science and Technology City Hall of the Russian Union of Scientific and Engineering Associations. -2020. С. 32059.

Сведения об авторах

ФИО	Кретинин В.И.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4424-8046
e-mail	kvi_1960@mail.ru
ФИО	Соколова В.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	wladenok@icloud.com
ФИО	Ефанов В.А.
Организация	Государственный центр испытаний, сертификации и стандартизации

Адрес 196084, ул. Парковая, дом 4, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код отсутствует
e-mail regionspb@list.ru

Аннотация

Газопламенное напыление является одним из перспективных технологических методов нанесения восстановительных и упрочняющих покрытий. Широкому внедрению этого способа напыления препятствует отсутствие системы управления качеством газопламенных покрытий.

Ключевые слова: газопламенное напыление, упрочнение покрытий, прочность сцепления, управление качеством.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Методика определение параметров поддрессирования сиденья оператора лесопосадочной машины

**Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А.,
Тарадин Г.С., Пушков Ю.Л., Андронов А.В., Тюрина М.С.**

Введение.

Оператору лесопосадочной машины приходится длительное время находится под действием вибрации, возбуждаемой, главным образом микронеровностями вырубков, по которым движется лесопосадочная машина. Чаще на вырубках с дренированными почвами посадка лесных культур проводится по бороздам лесопосадочными машинами МЛУ-1.

Механические колебания оказывают сложное биологическое действие на тело человека и могут вызывать ряд изменений в организме, затрагивающих его функциональное состояние, работоспособность, и в целом здоровье. Действие механических воздействий на организм человека зависит от частоты, амплитуды, и продолжительности колебаний.

Одиночные воздействия большой интенсивности могут вызывать травматические повреждения, ушибы, контузии, переломы и др. Колебание, действующее продолжительное время, даже при умеренной интенсивности, могут оказывать серьезное влияние на весь организм человека, особенно если частота воздействия не благоприятная. Колебание с частотой до 3-5 Гц вызывают расстройство вестибулярного аппарата. При колебаниях с частотой до 5-11 Гц могут наблюдаться расстройства различных органов тела. Механические колебания с частотой 45 Гц и выше могут даже вызвать, так называемую, вибрационную болезнь.

Подвеска, которая связывает сидение оператора и пол кабины лесопосадочной машины состоит из рессоры и амортизатора. Как правило функцию рессоры выполняет спиральная пружина, основным параметром которой является жёсткость C . Амортизатор служащей для затухания процесса вертикальных колебаний характеризуется коэффициентом сопротивления β [1, 2, 3].

При деформации пружины возникает упругая сила P_v , которая имеет знак минус, т.е. $-P_v$ и определяется по формуле

$$- P_v = Cx \Delta \ell,$$

где C – жёсткость пружины, Н/м; $\Delta \ell$ – деформация пружины, м.

Можно считать, что характеристика пружины имеет линейный характер, и, следовательно, жесткость постоянна. Амортизатор, который обеспечивает гашение колебаний, как правило, имеет поршневую конструкцию двухстороннего действия. Поглощение механической энергии, колеблющихся масс происходит в гидравлическом амортизаторе за счет вязкого трения, возникающего при прохождении жидкости через дробильную систему из одной полости в другую вследствие чего, возникает сила сопротивления которая также имеет знак минус т.е. $-P_{сопр}$ и определяется по формуле:

$$- P_{сопр} = \beta \cdot \dot{Z},$$

где β – коэффициент сопротивления амортизатора, Нс/м; \dot{Z} – скорость вертикального перемещения штока поршня амортизатора, м/с.

Для дальнейших расчетов воспользуемся формулой Ньютона

$$P_{сопр} = \frac{\mu}{l} \cdot S \cdot \dot{Z},$$

где μ – динамическая вязкость масла (амортизаторных жидкостей), Нс/м² (динамическая вязкость определяется перемножением кинематической вязкости на плотность масла и в среднем составляет 100-130 Нс/м²); l – расстояние между стенками в калиброванном отверстии гидравлического амортизатора, т.е. диаметр калиброванного отверстия, м; S – площадь воздействия давления масла (площадь круглого калиброванного отверстия гидравлического амортизатора), м²; \dot{Z} – скорость движения штока гидравлического амортизатора, м/с.

Из формулы Ньютона выделим коэффициент сопротивления β , Нс/м:

$$\beta = \frac{\mu}{l} \cdot S$$

Зависимость силы сопротивления $P_{сопр}$ от хода подвески нелинейная.

Рассмотрим процесс вертикальных механических колебаний сиденья оператора лесопосадочной машины в транспортном режиме, т.е. в агрегате с трактором ЛХТ-100. Расчётная схема представлена на рис. 1.

Воздействия возмущения на сиденье оператора моделируются пружиной и амортизатором – демпфером.

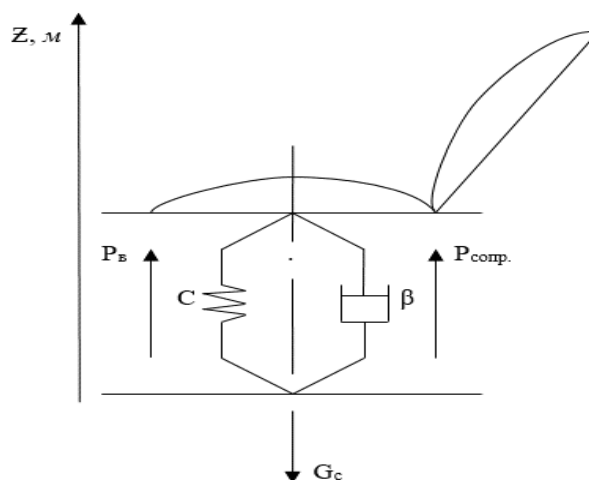


Рис. 1. Расчётная схема

На расчётной схеме приняты следующие обозначения:

Z – вертикальные перемещения сиденья оператора, м; G_c – сила тяжести сиденья и оператора, Н; $G_c = m\ddot{z}$, где m – суммарная масса, кг; $m = (m_1 + m_2)$; где m_1 – масса сиденья, кг; m_2 – масса оператора, кг; \ddot{z} – ускорение, м/с²; P_v – сила упругая восстанавливающая, Н; $P_{сопр}$ – сила сопротивления (сила вязкого трения), Н; C – жёсткость пружины, Н/м; β – коэффициент сопротивления, Нс/м,

Для проведения исследований проектируем все силы на ось Z :

Движение сиденья оператора под действием сил P_v и $P_{сопр}$ представляет собой механические колебания.

Силы упругие и силы сопротивления всегда имеют знак минус. Получаем:

$$G - (-P_v) - (-P_{сопр}) = 0 \quad \text{или} \quad m\ddot{z} + \beta \dot{z} + cz = 0.$$

При делении на массу m получаем уравнение в виде:

$$\ddot{z} + \frac{\beta}{m} \dot{z} + \frac{c}{m} z = 0.$$

Решение данного уравнения имеет вид:

$$Z = Ae^{-kt} \sin \omega t.$$

Подставим это выражение в дифференциальное уравнение и получим:

$$\ddot{Z} + 2\kappa \dot{Z} + \omega^2 Z = 0,$$

где κ – коэффициент затухания, 1/с; ($2\kappa = \frac{\beta}{m}$); ω – собственная частота, 1/с ($\omega = \sqrt{\frac{c}{m}}$).

Для построения графика механических колебаний используется методика пакета MathCAD. Для решения данной задачи используются пакет MathCAD

версии 14. Дифференциальное уравнение решается с помощью функции `rkfixed`. Функция `rkfixed (A0, t1, t2, n, D)` реализует численное решение задачи по методу Рунге-Куты с фиксированным шагом. Функция `rkfixed (A0, t1, t2, n, D)` выдаёт таблицу результатов решений столбцами и n строками. Нулевой столбец таблицы – это текущие значения независимой переменной (аргумента) t . Они определяются через $t_1, t_2 \dots n$. Последующие столбцы решения определяют значения искомых функций $Z(t)$ и $v(t)$ для соответствующих значений аргумента t . На рис. 2 продемонстрированы этапы подготовки к использованию функции и график незатухающих колебаний, а на рис. 3 затухающих.

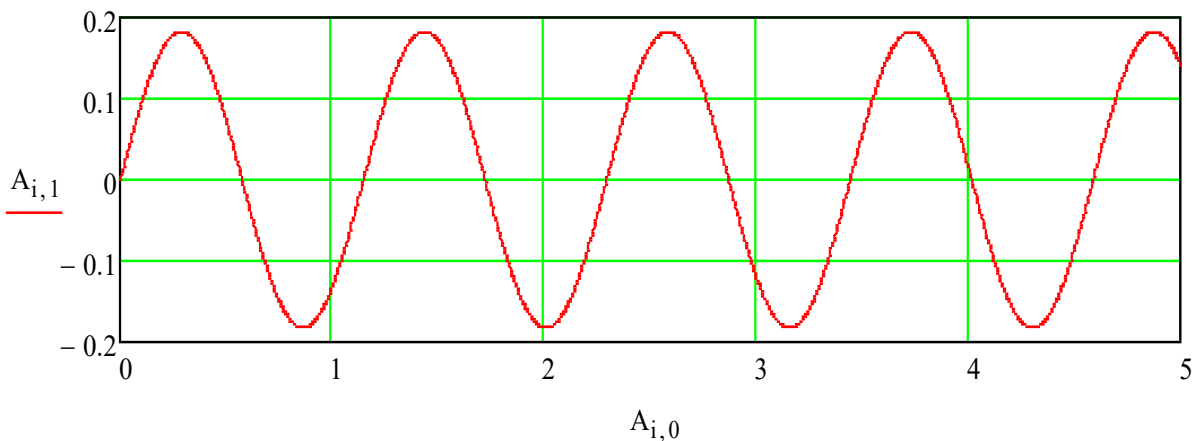


Рис. 2. График незатухающих механических колебаний

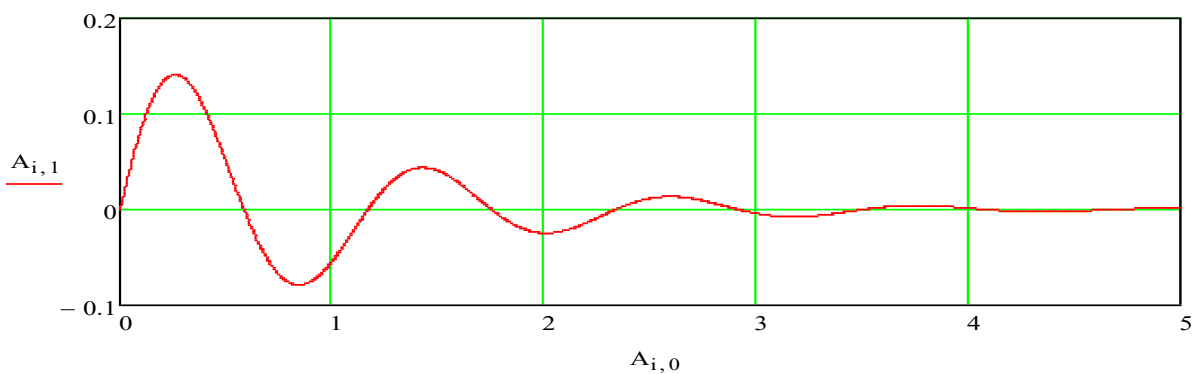


Рис. 3. График затухающих механических колебаний

В табл. 1 приведены результаты решения дифференциального уравнения незатухающих механических колебаний с использованием функции `rkfixed (A0, t1, t2, n, D)`. Первый столбец таблицы – это текущие значения времени интегрирования. Второй и третий столбцы искомые значения параметров Z (вертикальное перемещение) и \dot{Z} (заданная скорость).

Таблица 1. Результаты решения дифференциального уравнения

	0	1	2
0	0	0	1
1	$4 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	1
2	$8 \cdot 10^{-3}$	$7.997 \cdot 10^{-3}$	0.999
3	0.012	0.012	0.998
4	0.016	0.016	0.996
5	0.02	0.02	0.994
6	0.024	0.024	0.991
7	0.028	0.028	0.988
8	0.032	0.032	0.985
9	0.036	0.036	0.981
10	0.04	0.04	0.976
11	0.044	0.044	0.971
12	0.048	0.047	...

A =

Используя данную методику и варьируя параметры подвески, подбираются необходимые значения жёсткости спиральной пружины и коэффициента сопротивления гидравлического амортизатора для сиденья оператора лесопосадочной машины.

Заключение

Развитая методика позволяет на стадии проектирования подобрать оптимальные параметры жесткости спиральной пружины и коэффициента сопротивления гидравлического амортизатора лесопосадочной машины, что уменьшит вредное воздействие механических колебаний на организм оператора.

Библиографический список

1. Козьмин С.Ф. Механизация лесного хозяйства и садово-паркового строительства. Машины и механизмы: справочник. – СПб.: СПбГЛТА, 2006. –408с.
2. Орлов С.Ф., Жуков А.В., Козьмин С.Ф. Спектральная теория поддрессирования специальных лесных машин: метод. указания. – Л.: ЛТА, 1980, - 32 с.
3. Ротенберг Р.В. Подвеска автомобиля. – М.: «Машиностроение», 1972. - 390 с.

Сведения об авторах

ФИО Козьмин С.Ф.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 6778-0352

e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Андронов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8345-3722
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
ФИО	Тюрина М.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6582-0730
e-mail	turinamaria2017@yandex.ru

Аннотация

Приведены материалы исследования параметров подвески сиденья лесопосадочной машины МЛУ-1. Составлена расчётная схема. Исследования проводились с целью улучшения условий работы оператора лесопосадочной машины, работающей на вырубке при лесовосстановлении. Полученные данные необходимо использовать на стадии проектирования и при серийном выпуске лесопосадочных машин.

Ключевые слова: лесовосстановление, исследования, сиденье, спиральная пружина, амортизатор, динамическая вязкость масла. сила сопротивления, жёсткость пружины, графики колебаний.

УДК 630.34.(075.8)

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Вибронагруженность оператора валочно-трелевочной машины в процессе подъема срезанного дерева, уложенного на рукоять, стрелой

Александров В.А., Александров А.В., Буслаев В.В., Зайцев В.В.

Введение.

Операторы валочно-трелевочных машин (ВТМ), при обработке срезанных деревьев большой массы применяют прием предварительного укладывания их на рукоять гидроманипулятора. Это позволяет значительно уменьшить статическую нагрузку на машину.

На рис. 1 представлена расчетная схема биодинамической системы «Оператор – ВТМ – предмет труда – дерево».

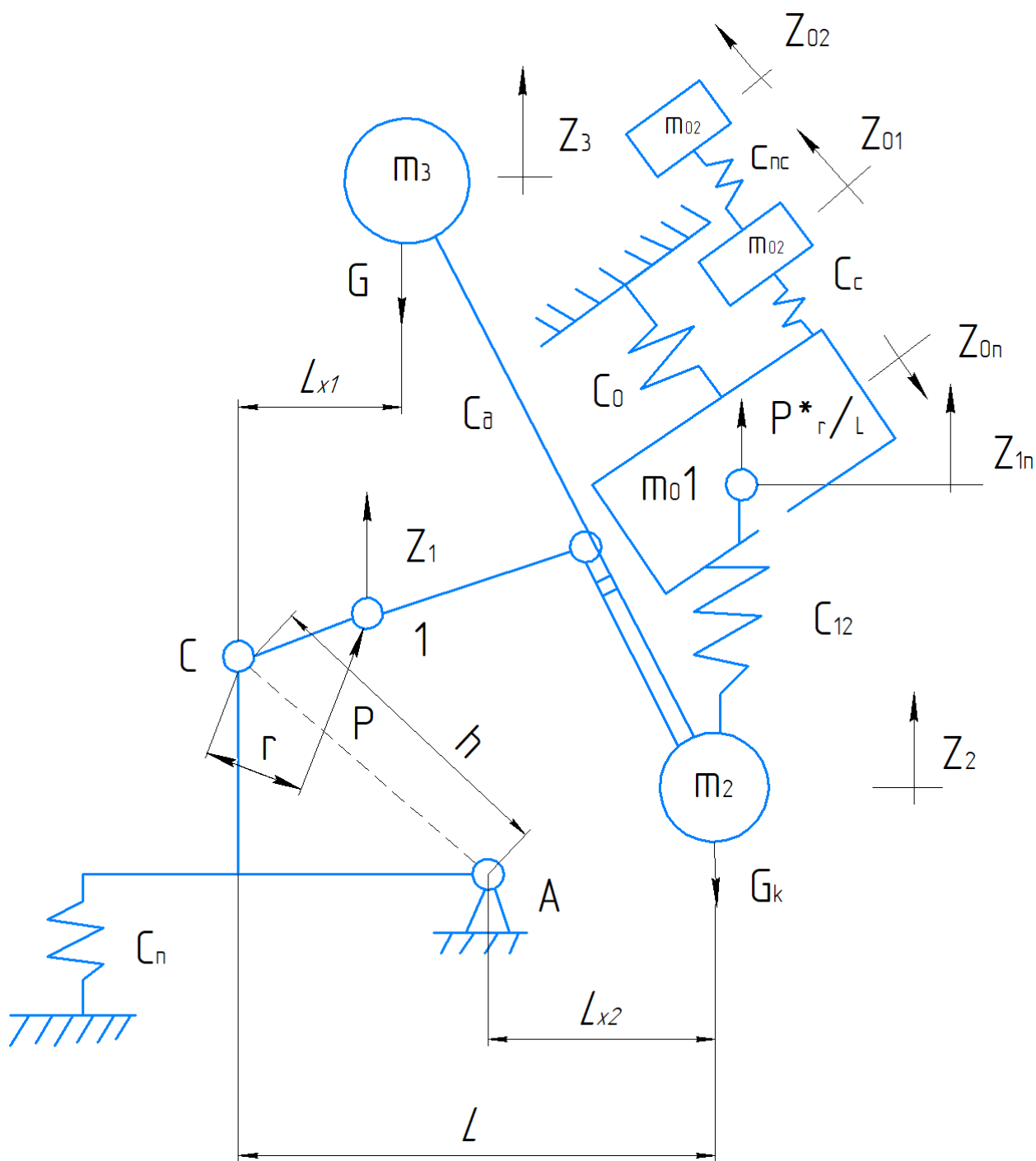


Рис. 1. Расчетная схема биодинамической системы
«Оператор – ВТМ – предмет труда – дерево»

Принятые обозначения:

$m_0, m_2, m_3, m_{01}, m_{02}$ – приведенные массы соответственно подрессоренной базы, манипулятора с ЗСУ, дерева, таза с частью нижних конечностей, груди, головы, плеч и частью верхних конечностей;

$Z_{0n}, Z_2, Z_{3n}, Z_{02}, Z_{01}$ и Z_{1n} – обобщенные координаты центров приведенных масс соответственно $m_0, m_2, m_3, m_{01}, m_{02}$ и безмассовой точки 1;

$C_0, C_{12}, C_d, C_s, C_{nc}$ – приведенные жесткости упругих связей соответственно подвески ВТМ, манипулятора, дерева, подвеса сиденья и позвоночного столба;

$C_{\text{п}}$ – жесткость подвески;

P – усилие на штоках гидроцилиндров привода стрелы;

r – плечо силы P ;

$G_{\text{к}}$ и $G_{\text{д}}$ – соответственно сила тяжести манипулятора с ЗСУ (приведенная) и дерева;

r_1 – радиус перемещения сиденья относительно т. А

Кинетическая энергия биодинамической системы:

$$T = \frac{1}{2}m_0\dot{Z}_{0\text{п}}^2 + \frac{1}{2}m_2(\dot{Z}_2 - \dot{Z}_{0\text{п}})^2 + \frac{1}{2}m_3(\dot{Z}_{3\text{п}} - \dot{Z}_{0\text{п}})^2 + \frac{1}{2}m_{01}\dot{Z}_{01}^2 + \frac{1}{2}m_{02}\dot{Z}_{02}^2. \quad (1)$$

Потенциальная энергия системы:

$$\Pi = \frac{1}{2}C_0 Z_{0\text{п}}^2 + \frac{1}{2}C_{12}(Z_{1\text{п}} - Z_2)^2 + \frac{1}{2}C_{\text{д}}(Z_2 - Z_{3\text{п}})^2 + \frac{1}{2}C_{\text{с}}(Z_{0\text{п}} - Z_{01})^2 + \frac{1}{2}C_{\text{пс}}(Z_{01} - Z_{02})^2 \quad (2)$$

Выполнив необходимые действия в соответствии с уравнением Лагранжа II-го рода, получим следующую систему уравнений:

$$\begin{aligned} m_{01}\ddot{Z}_{01} + C_{\text{пс}}(Z_{01} - Z_{02}) &= C_{\text{с}}(Z_{0\text{п}} - Z_{01}), \\ m_{02}\ddot{Z}_{02} + C_{\text{пс}}Z_{02} &= C_{\text{пс}}Z_{01}, \\ m_0\ddot{Z}_{0\text{п}} + C_0Z_{0\text{п}} + C_{\text{с}}(Z_{0\text{п}} - Z_{01}) &= C_{12}(Z_{1\text{п}} - Z_2), \\ C_{12}(Z_{1\text{п}} - Z_2) &= P^r/L, \\ m_2(\ddot{Z}_2 - \ddot{Z}_{0\text{п}}) + C_{\text{д}}(Z_2 - Z_{3\text{п}}) &= C_{12}(Z_{1\text{п}} - Z_2), \\ m_3(\ddot{Z}_{3\text{п}} - \ddot{Z}_{0\text{п}}) + G_{\text{д}} &= C_{\text{д}}(Z_2 - Z_{3\text{п}}). \end{aligned} \quad (3)$$

Преобразуя систему уравнений (3), окончательно получим [1]:

$$\begin{aligned} A &= \begin{bmatrix} \frac{m_2 m_3 m_0 (m_{01} + m_{02}) C_{\text{пс}} + m_2 m_3 (m_{01} + m_0) C_{\text{с}} m_{02} + (m_3 + m_2) m_0 m_{01} m_{02} C_{\text{пс}}}{\dots} & \dots \\ \dots & \frac{-m_3 m_0 m_{01} C_{\text{п}} m_{02}}{m_{01} m_{02} m_0 m_2 m_3} \end{bmatrix}; \\ B &= \begin{bmatrix} \frac{m_2 m_3 (m_{01} + m_0) C_{\text{с}} (m_{01} + m_{02}) C_{\text{пс}} - m_2 m_3 m_0 C_{\text{пс}} C_{\text{с}} m_{02} + \dots}{\dots} & \dots \\ \dots & \frac{+(m_3 + m_2) m_0 (m_{01} + m_{02}) C_{\text{пс}} C_{\text{д}} m_{01} + (m_3 + m_2) (m_{01} + m_0) C_{\text{с}} m_{01} m_{02} C_{\text{д}} - \dots}{\dots} \\ \dots & \frac{-m_3 m_0 (m_{01} + m_{02}) C_{\text{пс}} C_{\text{д}} m_{01} - m_3 (m_{01} + m_0) C_{\text{с}} m_{01} m_{02} C_{\text{д}}}{m_{01}^2 m_{02} m_2 m_3 m_0} \end{bmatrix}; \\ C &= \begin{bmatrix} \frac{(m_3 + m_2) (m_{01} + m_0) C_{\text{с}} (m_{01} + m_{02}) C_{\text{пс}} - (m_3 + m_2) m_0 C_{\text{пс}} m_{02} C_{\text{с}} + \dots}{\dots} & \dots \\ \dots & \frac{+m_3 m_0 C_{\text{пс}} m_{02} C_{\text{с}} - m_3 (m_{01} + m_0) C_{\text{с}} (m_{01} + m_{02}) C_{\text{пс}}}{m_{01} m_{02} C_{\text{с}}} \end{bmatrix}; \end{aligned}$$

$$D = \left[\frac{m_2(G \times L_{x1} - P \times r)C_d C_c}{m_2 m_3 m_0 m_{01} L} \right].$$

Введя новую переменную $Q_1 = (Z_{01} - Z_{02}) - D/C$, получим однородное уравнение вида:

$$Q_1^{VI} + A Q_1^{IV} + B \ddot{Q}_1 + C Q_1 = 0. \quad (5)$$

Пример:

Исходные данные примем применительно к валочно-трелевочной машине ЛП-17А: объем дерева – 1,5 м³; сила тяжести дерева $G = 13500$ Н; вылет манипулятора $L = 5$ м; $C_d = 40$ кН/м; $C_{nc} = 97 \times 10^3$ Н/м; $C_c = 5 \times 10^3$ Н/м; $m_0 = 932,17$ кг; $m_{01} = 24,2$ кг; $m_{02} = 28,5$ кг; $m_2 = 800$ кг; $m_3 = 675$ кг; $C_n = 554,34$ кН/м.

1. Находим коэффициенты дифференциального уравнения (5):

$A = 7001,25$; $B = 14083,33 \times 10^2$; $C = 28132,25$.

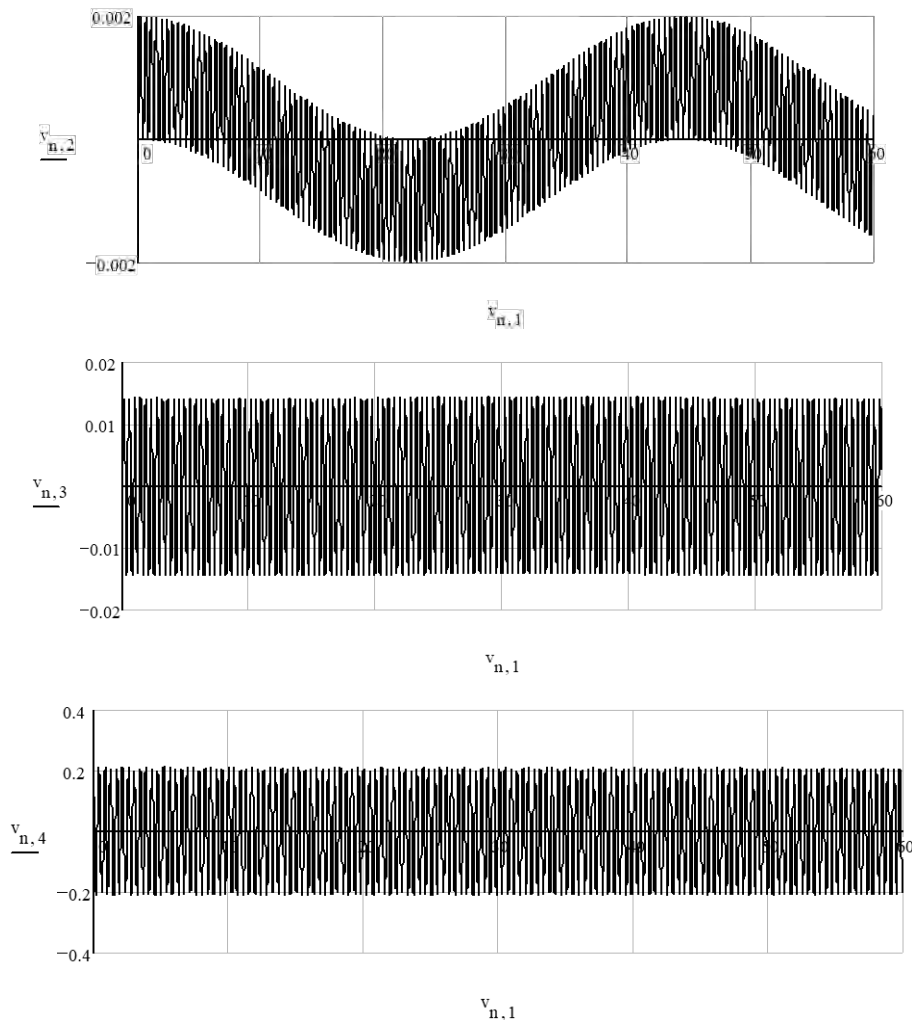


Рис. 2. Графики вибрационного воздействия на оператора ВТМ в режиме разгона при подъеме дерева стрелой ($\ddot{Q}_1 = 0,2$ м/с²): $v_{n,2}$ – виброперемещение; $v_{n,3}$ – виброскорость; $v_{n,4}$ – виброускорение

2. Решая уравнение (5) методом Рунге-Кутты с помощью среды программирования MathCAD при начальных условиях для режима разгона системы, получим расчетные данные, приведенные в таблице 1:

$$\ddot{Q}_1 = 0,2; 0,4; 0,6; 0,8 \text{ м/с}^2; Q_1 = \dot{Q}_1 = \ddot{Q}_1 = Q_1^{IV} = Q_1^V = 0,$$

Таблица 1. Характеристики биодинамической системы «Оператор – ВТМ – предмет труда – дерево» в режиме разгона при подъеме дерева стрелой.

Характеристики	$\ddot{Q}_1, \text{ м/с}^2$			
	0,2	0,4	0,6	0,8
$Q_1, \text{ м}$	0,002	0,004	0,006	0,008
$\dot{Q}_1, \text{ м/с}$	0,015	0,029	0,044	0,058
$\ddot{Q}_1, \text{ м/с}^2$	0,212	0,425	0,637	0,850

* $Q_1 = (Z_{01} - Z_{02})$.

Выводы:

1. Определяющее влияние на уровень воздействия на оператора оказывает форсирование пускового режима.
2. Максимальное виброускорение на оператора ВТМ воздействует в режимах разгона при подъеме дерева стрелой при ускорениях трогания стрелы 0,6...0,8 м/с².
3. Разработанная модель системы «Оператор – ВТМ – предмет труда – дерево» позволяет определить вибрационное воздействие на оператора на стадии разработки рабочей документации на машину с погрешностью 8-10%.

Сведения об авторах

ФИО	Александров В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	–
ФИО	Александров А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	–
ФИО	Буслаев В.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации	университет имени С.М. Кирова 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	–
ФИО	Зайцев В.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	–

Аннотация

Разработана биодинамическая модель системы «Оператор – валочно-трелевочная машина – предмет труда – дерево». Математическое описание составлено в форме уравнения Лагранжа II-го рода. Система уравнений решена относительно упругой деформации позвоночного столба оператора методом Рунге-Кутта с помощью среды программирования MathCAD. Апробация модели осуществлена на примере серийно выпускаемых валочно-трелевочных машин ЛП-17А.

Ключевые слова: валочно-трелевочная машина, математическая модель, колебания, вибрация, оператор.

УДК 630*32

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

5. ДЕРЕВООБРАБОТКА И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Исследование причин дефектов лакокрасочного покрытия: недостаточный блеск покрытия, риски, трещины

Соколова В.А., Иванов А.М., Войнаш С.А.

Дефект «недостаточный блеск покрытия» выявляется при несоответствии 10-ой строке по рефлектоскопу Р-4. Дефект приводит к необходимости дополнительного полирования, а в отдельных случаях шлифования покрытия. Дефект особенно проявляется при полировании нескольких деталей разной толщины, так как они нагреваются неравномерно. Для предупреждения дефекта (для улучшения всплывания парафина) необходимо следить за температурными условиями в цехе, не допуская низкой или высокой температуры. Нельзя наносить второй слой лака по сырому предыдущему. Необходимо точно выдерживать сроки отверждения покрытий [3].

Дефект «риски» представляет собой мелкие продольные царапины, которые легко обнаруживаются визуально непосредственно после полирования. На блеск покрытия по Р-4 этот дефект влияния не оказывает, но портит декоративный вид покрытия. Причинами возникновения данного дефекта являются шлифование покрытий шкурками большой зернистости, высокий нагрев покрытия при полировании.

Нагрев при полировании приводит к размягчению не только поверхностных, но и нижележащих слоев покрытия, особенно при длительном полировании, высоком давлении барабана и малой скорости перемещения деталей. Это приводит к появлению «комет» – риск от летящих абразивных зерен. При непродолжительном полировании и большой скорости перемещения деталей нагревается лишь поверхностный слой покрытия, и его размягчение способствует более быстрому удалению неровностей и получению высокого блеска покрытия. Отрицательное значение здесь также имеет неравномерный нагрев деталей по причине их разнотолщинности. Исправление дефекта затруднительно. Предупреждение его заключается в шлифовании покрытий необходимыми шлифовальными шкурками. В этом случае будет сокращаться продолжительность полирования, что повысит производительность оборудования, а также не произойдет нагрева или размягчения покрытия в его нижележащих слоях. Толщина деталей должна различаться не более чем на 0,2 мм в ту или другую сторону [1].

Дефект «трещины» может быть незначительной протяженности, расположенные хаотично, или большой протяженности, преимущественно вдоль волокон, часто выходящие пучком из одной точки.

Трещины первого вида проявляются чаще всего при сборке изделий, второго – в зимнее время при транспортировке изделий. Это недопустимый дефект. Детали и изделия переводят в бракованные. Причина: наличие в верхних слоях покрытий остаточных растягивающих напряжений, которые возникают в результате усадки и температурных воздействий при полировании и последующем охлаждении.

На растяжение оказывают влияние мелкие различные источники напряжений в покрытии: мелкие пузырьки, микротрещины в местах сверления отверстий и других видов обработки, наличие сгустков лака или посторонних включений [2]. Для предупреждения образования трещин в покрытиях необходимо не допускать чрезмерного нагрева при полировании. Операции по механической обработке резанием отделанных деталей при сборке изделий следует исключить или выполнять до полирования покрытия. При нанесении лака необходимо следить за тем, чтобы в покрытии не возникали другие дефекты (пузыри, мелкие сгустки лака, посторонние включения).

Таким образом, все рассмотренные виды дефектов являются недопустимыми и могут влиять на качество продукции. Своевременно устранение этих дефектов может спасти партию продукции от брака.

Библиографический список

1. Соколова В.А., Ладиков И.С., Андреев К.И. Исследование процесса пленкообразования на основе водно-дисперсионных лакокрасочных материалов. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. / Сборник статей по материалам научно-технической конференции. Ответственный редактор В.А. Соколова. 2018. С. 287-292.
2. Справочник по защитно-декоративным покрытиям [Текст] / Я. В. Вайнер, М. А. Дасоян, А.Я. Дринберг [и др.]; Под ред. лауреата Сталинской премии д-ра техн. наук проф. Н.П. Федотьева. – Москва; Ленинград: Машгиз. [Ленингр. отд-ние], 1951. – 480 с., 2 л. черт.: ил.; 23 см.
3. Справочник мебельщика / Под редакцией члена-корреспондента РАЕН В.П. Бухтиярова; Всероссийский проектно-конструкторский и технологический институт мебели, Московский государственный университет леса. – 3-е издание, переработанное. – Москва: Издательство Московского государственного университета леса, 2005

Сведения об авторах

ФИО	Соколова Виктория Александровна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код 5116-5102
e-mail sokolova_vika@inbox.ru

ФИО Иванов Андрей Михайлович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код –
e-mail andreyiv1997@mail.ru

ФИО Войнаш Сергей Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код –
e-mail sergey_voi@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрены дефекты лакокрасочного покрытия древесины. Рассмотрены такие дефекты как – «недостаточный блеск покрытия», «риски» и «трещины». Приведен анализ причин возникновения данных дефектов, а также рекомендации по их недопущению.

Ключевые слова: древесина, лакокрасочные покрытия, дефект, недостаточный блеск покрытия, риски, трещины.

УДК 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.00

Анализ дефектов «белесые пятна», «серебристые поры», «разводы», «отслаивание» лакокрасочных покрытий

Соколова В.А., Иванов А.М., Баринова П.А.

Дефект «белесые пятна» появляется под пленкой в виде бесформенных пятен различной величины. Заметными они становятся после отверждения лака или при облагораживании покрытия и сборке. В большинстве случаев детали с этим дефектом бракуют [2]. Причинами данного дефекта являются плохое

всплывание парафина, пониженная адгезия лака в подложке. Плохое всплывание парафина наблюдается при низкой или высокой температуре в помещении. Особенно часто это случается, когда второй слой лака наносят на еще сырой предыдущий. В этом случае наблюдается молочное помутнение, и на поверхности покрытия появляются мелкие отверстия.

Дефект «серебристые поры» появляется в виде мелких круглых или продолговатых блестящих пятен в порах древесины; появляются при нанесении первого слоя лака и обнаруживается легче всего после полирования покрытия. Дефект возникает при отделке красного дерева; на древесине других пород появляется реже и лишь в случаях некачественного шпона. Дефект неисправим. Причины возникновения данного дефекта заключаются в строении древесины некоторых видов красного дерева, наличии в древесине экстрактивных веществ, препятствующих нормальному отверждению лака, вспениванию лака, вспениванию клея, просочившегося сквозь микропустоты в древесном шпоне. В отдельных случаях предупредить дефект можно путем смачивания поверхности красного дерева ацетоном непосредственно перед подачей детали в лаконаливочную машину. При этом необходим предварительный лабораторный анализ партии шпона. Необходимо контролировать качество шпона, обеспечивать минимальный расход клея при облицовывании, поддерживать не очень высокую температуру прессования (не выше 130 град.). Важно тщательно шлифовать древесину.

Дефект «разводы» – это выделяющиеся со своим оттенком на поверхности покрытия отдельные участки небольших размеров, хотя они имеют достаточную гладкость и блеск. Становятся заметными после полирования при тщательном визуальном осмотре. Дефект встречается редко и обычно его не замечают, хотя декоративный вид покрытия снижается [3]. Причина: недостаточная твердость покрытия в момент складирования и транспортировки. При соблюдении всех параметров режимов нанесения лака и сушки твердость покрытия на основе лака ПЭ-246 через 3 часа выдержки при нормальной температуре составляет 0,27-0,33. Эта величина может колебаться у разных партий лака. Такая твердость недостаточна, и в местах, где были контакты с руками рабочих, упорами стеллажей и тележек, остаются едва заметные следы, приводящие после полирования к появлению разводов. Исправить дефект почти невозможно. Меры предупреждения сводятся к тому, чтобы лакированные детали выдерживались на стеллажах до приобретения твердости не ниже 0,4.

Дефект «отслаивание облицовочного материала» возникает тогда, когда щиты облицовываются синтетическим шпоном в холодном прессе с использованием поливинилацетатной эмульсии, когда покрытие испытывает

воздействие высокой температуры, в частности, при ультрафиолетовом облучении и полировании. Детали с этим дефектом бракуют. Причины данного дефекта заключаются в низкой теплостойкости эмульсии, особенно пластифицированной. Температура размягчения поливинилацетата оказывается значительно ниже реальной температуры сушки ЛКМ или температуры полирования [1]. Для устранения этого дефекта при полировании следует применять совмещенный клей, содержащий 70% поливинилацетатной эмульсии и 30% мочевиноформальдегидной смолы. Отвердитель в такой клей можно не вводить, так как отверждение карбамидной смолы произойдет под действием кислой среды эмульсии. Для предупреждения отслаивания бумаги при ультрафиолетовом облучении применение совмещенного клея неэффективно. В этом случае покрытие искусственно охлаждают, устраивая в камере вентиляционные системы для обдувания деталей воздухом.

Анализ дефектов «белесые пятна», «серебристые поры», «разводы, «отслаивание» лакокрасочных покрытий показал, что все эти дефекты оказывают влияние на декоративные свойства покрытий. Своевременное предупреждение появления данных дефектов – важное мероприятие, которое сохранит качество покрытий.

Библиографический список

1. Справочник по защитно-декоративным покрытиям [Текст] / Я.В. Вайнер, М.А. Дасоян, А.Я. Дринберг [и др.]; Под ред. лауреата Сталинской премии д-ра техн. наук проф. Н.П. Федотьева. – Москва; Ленинград: Машгиз. [Ленингр. отд-ние], 1951. – 480 с., 2 л. черт.: ил.; 23 см.
2. Справочник мебельщика / Под редакцией члена-корреспондента РАЕН В.П. Бухтиярова; Всероссийский проектно-конструкторский и технологический институт мебели, Московский государственный университет леса. – 3-е издание, переработанное. – Москва: Издательство Московского государственного университета леса, 2005
3. Цой Ю.И., Соколова В.А. Отделка древесины водно-дисперсионными лакокрасочными составами. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. / 2012. № 199. С. 220-226.

Сведения об авторах

ФИО	Соколова Виктория Александровна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru

ФИО Иванов Андрей Михайлович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail andreyiv1997@mail.ru

ФИО Баринова Полина Алексеевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail full_moonpg@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрены дефекты лакокрасочного покрытия древесины. Рассмотрены такие дефекты как – «белесые пятна», «серебристые поры» и «разводы, отслаивание» лакокрасочных покрытий. Приведен анализ причин возникновения данных дефектов, а также рекомендации по их недопущению.

Ключевые слова: древесина, лакокрасочные покрытия, дефект, белесые пятна, серебристые поры, разводы, отслаивание.

УДК 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.00

Анализ дефектов лакокрасочных покрытий: шагрень, пузырьки и проколы

Соколова В.А., Иванов А.М., Овчинников А.С.

Одним из основных требований к лакокрасочным покрытиям является внешний вид, определяемый в основном оптическими свойствами покрытий. Эти свойства не влияют на другие показатели пленки, например, на пористость. Тем не менее, бывают случаи, когда для достижения определенных оптических показателей необходимо поступиться другими свойствами пленки или когда по оптическим свойствам можно судить о физико-механических свойствах покрытия [1]. Приведем описание встречающихся в практике дефектов, основанное на сведениях, приведенных в литературе, по опросам специалистов,

результатам обследования мебельных предприятий и результатам экспериментальных работ [2].

Дефект «шагрень» – волнообразная поверхность покрытия, хорошо различимая невооруженным глазом. Наблюдается обычно в период желатинизации полиэфирного лака, чаще всего после нанесения второго слоя. Шагрень приводит к необходимости сошлифовывать большой слой с лакового покрытия, что увеличивает трудозатраты, расход шлифовальных материалов, снижает производительность работ. После полирования блеск покрытия неравномерный, местами покрытия шероховато. Дефект исправим в случае достаточно толстого покрытия при дополнительном шлифовании и полировании. В случае тонкого покрытия исправить дефект трудно, требуется дополнительное лакирование [4]. Для того чтобы не допустить шагрень, необходимо по возможности избегать сквозняков. Желатинизацию покрытия желательно проводить в камерах выдержки с нижним отсосом воздуха. Скорость движения воздуха в цехе (не выше 0,6 – 0,8 м/с) необходимо контролировать с помощью крыльчатых анемометров. Причиной шагрени может быть также повышенная температура воздуха.

Дефект «пузырьки» – мелкие вздутия, дефект «проколы» – крупные сквозные отверстия в покрытии, достигающие иногда 0,2 – 0,6 мм, получающиеся после разрыва пузырей. Появляются в период желатинизации покрытия. Легко обнаруживаются при визуальном осмотре. Это недопустимый дефект, приводящий отдельную деталь в брак. После шлифования и полирования пузырьки и проколы забиваются пылью и пастой, что приводит к появлению «сыпи». Причинами возникновения дефекта является вспенивание лака в лаконаливочной машине, большая скорость подачи деталей при обливке, плохо удаленный ворс на поверхности древесины, недостаточное шлифование древесины, быстрая желатинизация лака, низкое качество древесного шпона.

Для устранения вспенивания необходимо регулировать насос, чтобы обеспечить плавную подачу лака в головку, не допускать подсоса воздуха в насосе, не устанавливать головку высоко над поверхностью отделываемой детали. Количество подаваемого из головки лака должно быть по возможности минимальным, чтобы соответственно можно было установить минимальную скорость перемещения детали. Как правило, с увеличением скорости детали резко возрастает количество пузырей в покрытии. Исправление дефекта требует полного удаления лаковой пленки и повторной отделки детали. Предупреждение появления дефекта заключается в качественной подготовке поверхности древесины, отладке лаконаливочной машины, в точном соблюдении режимов нанесения лака. Уровень лака в баке должен быть не менее чем на 2/3 от высоты бака [3].

В заключении можно сделать вывод, что такие дефекты лакокрасочных покрытий как шагрень, пузырьки и проколы являются недопустимыми при производстве защитно-декоративных покрытий.

Библиографический список

1. Черфильд Х.В. «ЛКП» (пер. с англ., М., Химия, 1968).
2. Иванов А.М., Соколова В.А.К вопросу о качестве лакокрасочных покрытий. // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве. Материалы IV международной научно-практической конференции молодых ученых. / 2020. С. 20-23.
3. Справочник по защитно-декоративным покрытиям [Текст] / Я.В. Вайнер, М.А. Дасоян, А.Я. Дринберг [и др.]; Под ред. лауреата Сталинской премии д-ра техн. наук проф. Н.П. Федотьева. – Москва; Ленинград: Машгиз. [Ленингр. отд-ние], 1951. – 480 с., 2 л. черт.: ил.; 23 см.
4. Справочник мебельщика / Под редакцией члена-корреспондента РАЕН В.П. Бухтиярова; Всероссийский проектно-конструкторский и технологический институт мебели, Московский государственный университет леса. – 3-е издание, переработанное. – Москва: Издательство Московского государственного университета леса, 2005

Сведения об авторах

ФИО	Соколова Виктория Александровна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Иванов Андрей Михайлович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	andreyiv1997@mail.ru
ФИО	Овчинников А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	mmu@spbftu.ru

Аннотация

В данной статье проведен анализ дефектов лакокрасочного покрытия древесины. Проанализированы такие дефекты как – «шагрень», «пузырьки и проколы». Предложены пути недопущения данных дефектов.

Ключевые слова: древесина, лакокрасочные покрытия, дефект, шагрень, пузырьки и проколы.

УДК 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.00

Исследование причин дефектов отверждения лакокрасочных покрытий

Соколова В.А., Иванов А.М.

Одними из сильных дефектов лакокрасочных покрытий являются **замедленное отверждение и неотверждение лака.**

Замедленное отверждение лака характеризуется недостаточной твердостью покрытия для всей партии деталей. Проявляется чаще всего при шлифовании покрытия. Органолептически обнаружить затруднительно, особенно, когда необходимая твердость покрытия достигнута, а лак в нижних слоях остается мягким [3]. Недостаточно твердое покрытие невозможно качественно шлифовать и полировать. Получается невысокий блеск, в процессе эксплуатации изделий быстро обнаруживается просадка покрытия над порами древесины. Часто при шлифовании происходит сдирание покрытия. Причинами такого дефекта является введение неправильного количества инициатора, ускорителя и парафина, плохое перемешивание лака с компонентами, некачественный инициатор, содержание в отделяемом материале фенолов, низкая температура лака, деталей и воздуха в помещении. Первые три организационные и обусловлены недостаточным контролем режима приготовления и сроков хранения материалов. Наличие в древесине некоторых пород веществ, препятствующих нормальной реакции отверждения, должно заранее устанавливаться лабораторией.

Свободный формальдегид выделяется из синтетического шпона в процессе его изготовления и облицовки им щитовых деталей. При сушке и последующей выдержке пропитанной бумаги из нее удаляется часть формальдегида. Но при этом не вся смола в пленке отвердилась, и последующее ее отверждение происходит в горячем прессе, при облицовывании. Поэтому облицованная поверхность содержит некоторое количество формальдегида, к которому еще добавляется формальдегид из клеевого слоя. Если такие детали после

облицовывания поступают на отделку, то свободный формальдегид замедлит отверждение лака [1].

Влияние низкой температуры на замедление отверждения обуславливается плохим отоплением цеха в зимнее время, использованием лака, долго хранившегося на улице, или отделкой холодных деталей. Однако последнее обстоятельство не играет роли в тех случаях, когда детали перед лакированием проходят операции крашения и сушки, так как при этом устанавливается необходимая температура щитов. Предупреждение дефекта сводится к точному соблюдению технологических режимов, контролю за качеством компонентов лака и температурными условиями отделки [4].

Неотверждение лака проявляется в сохранении липкости или недостаточной твердости покрытия на отдельных участках. Дефект можно обнаружить при шлифовании и в процессе сушки покрытий. При облагораживании таких покрытий часто происходит его сдирание или остаются матовые пятна после полирования. Если не удлинить срок сушки покрытия, то твердость на всей остальной площади остается высокой и качественно отполировать такие детали не удастся. Причинами дефекта являются большой срок хранения парафина в стироле, неравномерное нанесение лака лаконоливной машиной. Дефект трудно исправить. Практикуется шлифование покрытия с последующим лакированием. Для предупреждения проявления появления дефекта необходимо следить за состоянием раствора парафина в стироле, обеспечивать равномерную подачу лака в машине, а также отрегулировать работу последней [2].

Таким образом, можно сделать вывод, что основными причинами появления дефектов отверждения лакокрасочных покрытий являются нарушения в технологических процессах.

Библиографический список

1. Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Локштанов Б.М., Соколова В.А., Черных Л.Г., Валиева К.Л., Кривоногова А.С. К вопросу о напольных покрытиях из древесины. // В сборнике: Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. / Сборник статей по материалам научно-технической конференции. Ответственный редактор В.А. Соколова. 2018. С. 212-220.
2. Справочник по защитно-декоративным покрытиям [Текст] / Я. В. Вайнер, М. А. Дасоян, А.Я. Дринберг [и др.]; Под ред. лауреата Сталинской премии д-ра техн. наук проф. Н.П. Федотьева. – Москва; Ленинград: Машгиз. [Ленингр. отд-ние], 1951. – 480 с., 2 л. черт.: ил.; 23 см.
3. Зигельбойм С.Н. «Дефекты ПЭ покрытий» (Меб., вып. 3, 1976).
4. Справочник мебельщика / Под редакцией члена-корреспондента РАЕН В. П. Бухтиярова; Всероссийский проектно-конструкторский и технологический институт мебели, Московский

Сведения об авторах

ФИО	Соколова Виктория Александровна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Иванов Андрей Михайлович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	andreyiv1997@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрены дефекты отверждения лакокрасочного покрытия древесины. Рассмотрены такие дефекты как – «замедленное отверждение» и «неотверждение лака». Приведен анализ причин возникновения данных дефектов, а также рекомендации по их недопущению.

Ключевые слова: древесина, лакокрасочное покрытие, дефект, замедленное отверждение лака, неотверждение лака.

УДК 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.00

Анализ разнотолщинности на предприятии «Невский Ламинат»

Кистина М.В., Марков В.А.

В данной работе был проведён анализ статистических данных о толщине древесно-стружечных плит, произведённых на заводе «Невский Ламинат». В массиве данных (Таблица 1.) указан порядковый номер плиты и толщина.

Таблица 1. Массив данных о толщине ДСтП

1	19,56	41	19,36	81	19,63	121	19,44	161	19,59
2	19,76	42	19,68	82	19,71	122	19,44	162	19,39
3	19,92	43	19,55	83	19,46	123	19,50	163	19,59
4	19,88	44	19,47	84	19,58	124	19,57	164	19,38
5	19,80	45	19,67	85	19,31	125	19,43	165	19,47
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
39	19,39	79	19,59	119	19,40	159	19,53	199	19,40
40	19,81	80	19,60	120	19,59	160	19,45	200	19,36

Согласно ГОСТу, разрешённое отклонение толщине для нешлифованных плит должно не более $\pm 0,6$ мм. На рисунке 1 изображен разброс толщин плит одной партии. На рисунке 2 показано, сколько плит из партии попадают в промежуток от 19 до 19,6 по толщине. Были предложены способы улучшения качества продукции в области неравномерности толщины

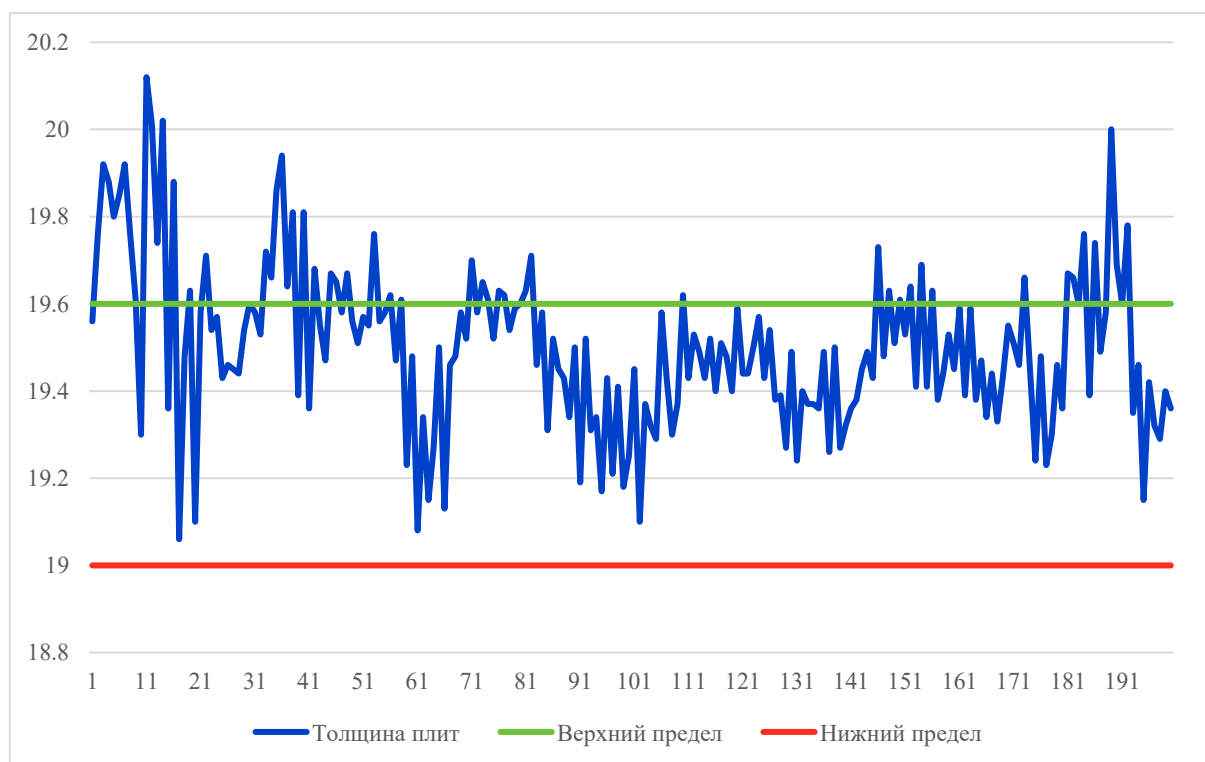


Рис. 1. График распределения толщины плит одной партии

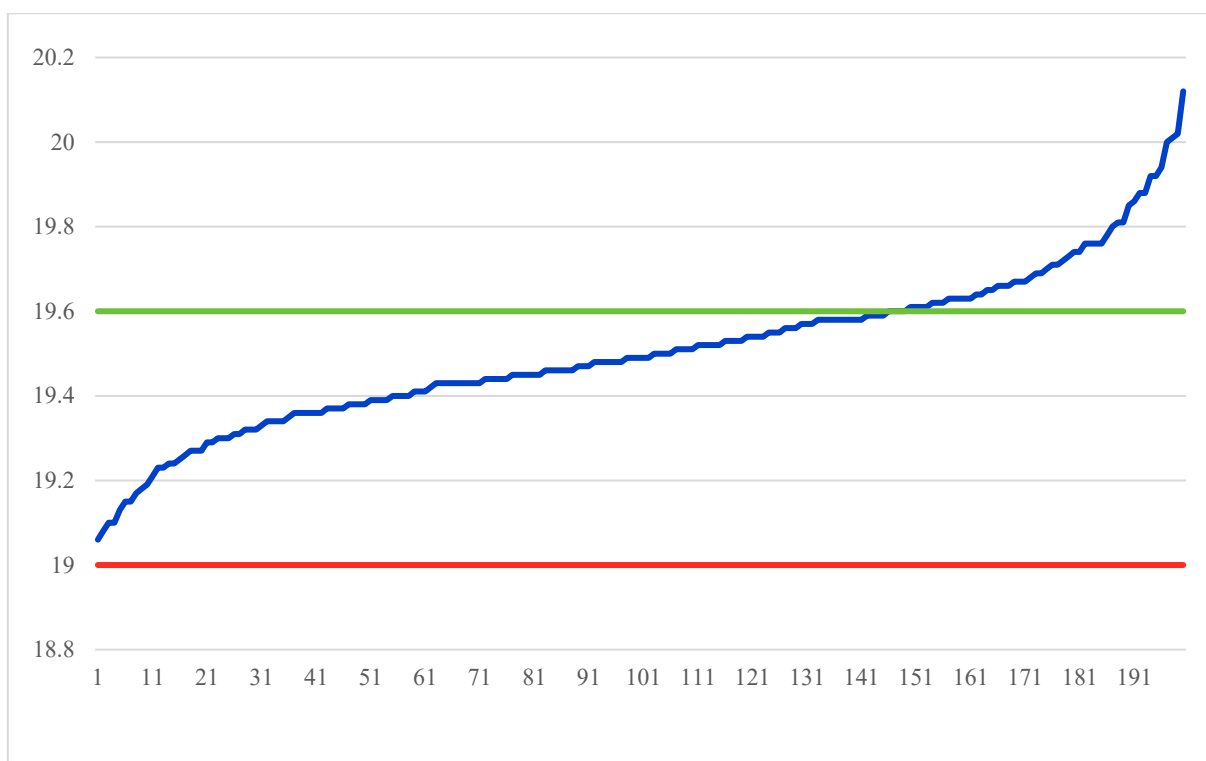


Рис. 2. График распределения толщины плит одной партии (величины отсортированы по возрастанию)

В результате анализа полученных на заводе «Невский Ламинат» статистических данных, становится понятно, что более 25% партии не соответствуют техническим норм и требуют дополнительной обработки. В результате анализа причин возникновения разнотолщинности предлагаются следующие действия по устранению этой проблемы:

- улучшить процесс разрыхления стружки на стадии формирования стружечного ковра, так как именно на этом этапе определяется изначальная форма пакета;
- установить специальные дистанционные планки на плиты пресса для контроля толщины во время прессования;
- использовать многоступенчатое снятие давления при прессовании со стадией выдерживания пакета под прессом без давления, что снизит вероятность неровностей и проверка плит пресса на правильность их формы, со временем плиты пресса деформируются от давления и это сказывается на равномерности толщины продукции.

Для получения качественных плит прессование необходимо вести таким образом, чтобы плиты пресса сели на свои ограничители до начала полимеризации смолы, т. е. в течение времени, близкого к минимально-допустимому времени выдержки пакетов плитам пресса, на соответствующему данной температуре [1].

Чтобы уменьшить количество брака при производстве плит древесной основе, компания Electronic Wood Systems (EWS) предлагает на комплексные подходы к проблеме контроля измерений: а именно контрольно–измерительные системы на всех наиболее важных этапах технологического процесса, объединённых общей системой управления, сбора и обработки данных измерений [2].

Библиографический список

1. Гордиенко В.В., Манжос Ф. М. Обработка древесно–стружечных плит давлением. – «Лесная промышленность», 1987.
2. Контрольно-измерительные установки для промышленности по производству древесных плит [электронный ресурс] / electronicwoodsystems URL.

Сведения об авторах

ФИО Кистина Марина Васильевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail m.kistina90g@gmail.com

ФИО Марков Владимир Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail mactor85@mail.ru

Аннотация

Своевременное и качественное разделение древесно-стружечных плит по сортам способствует снижению брака на производстве и повышению конкурентоспособности предприятия. Современные средства автоматизации прекрасно справляются с этой задачей при грамотном выборе алгоритма действий.

Ключевые слова: толщина, древесно-стружечные плиты, улучшение качества.

УДК 630

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Основные аспекты технической диагностики дереворежущих станков

Сергеевичев А.В.

Целью диагностирования является повышение показателей надежности деревообрабатывающего оборудования (вероятности безотказной работы, среднего ресурса, среднего времени восстановления и др.) путем обнаружения на ранних стадиях дефектов и неисправностей, а также причин их возникновения. Диагностирование позволяет предупредить или устранить появление внезапных и постепенных отказов, приводящих к тяжелым последствиям. Использование диагностирования также позволяет получать наиболее полную информацию, необходимую для оптимального регулирования режимов работы оборудования.

Для определения технического состояния деревообрабатывающей машины, состоящей из ряда функциональных механизмов (механизма главного движения, механизма подачи, базирующих устройств, системы управления и т.д.), необходимо знать с одной стороны, что и каким способом следует проверить, а с другой стороны, какие средства для этого следует употребить и как получить заключение о техническом состоянии машины.

Таким образом, диагностирование сводится к анализу состояний функциональных механизмов, выбору методов проверок их действительного состояния и разработке технических средств для осуществления проверок с учетом условий работы деревообрабатывающих машин.

Прямые признаки состояний функциональных механизмов обычно недоступны для непосредственного измерения. Например, при работе механизмов невозможно непосредственно измерить износ сопрягаемых пар. Поэтому в качестве признаков выбираются косвенные параметры. Так, износ сопрягаемых пар можно оценить по чистоте масла, температуре рабочего тела, КПД и т.д.

Принятие решения заключается в разработке правила, позволяющего получить достоверный диагноз, т.е. правильно отнести объект к определенному состоянию множества N , которое можно разделить на два подмножества: N_1 и N_2 . Переход деревообрабатывающей машины из одного состояния в другое вызывается некими неисправностями. Подмножество N_1 включает все состояния, позволяющие машине сохранять работоспособное состояние. Подмножество N_2 включает все состояния, приводящие к потере работоспособности машины.

Формально задача технической диагностики может быть поставлена следующим образом: в результате первичного описания объекта и выбора признаков состояния системы можно описать модельно:

$$K = F(k_1, k_2 \dots k_n), \quad (1)$$

где K – комплекс признаков; k_j – признак, имеющий m разрядов (например, признак k_i , характеризующий температуру тела на выходе механизма имеет три разряда ($m = 3$): повышенная, нормальная и пониженная).

Обозначая каждый разряд признака через k_{is} , состояние деревообрабатывающей машины с учетом совокупности признаков может быть записано в виде:

$$K = K^*(k^*_1, k^*_2, \dots, k^*_n) \quad (2)$$

Возможные состояния машины (подмножества N_1 и N_2) обозначаются диагнозами D_1 (исправное состояние) и D_2 (неисправное состояние). Необходимо определить состояние машины, т.е. ее принадлежность к D_1 или D_2 . Для этого необходимо построить алгоритм, с помощью которого, предъявленная совокупность признаков K^* может быть отнесена к одному из возможных состояний D_i . Так как поставленная задача является вероятностной, то правила решений представляют собой статические методы оценки гипотез. В диагностике применяют методы Байеса и статических решений.

В зависимости от способа получения информации о техническом состоянии машины различают тестовое, функциональное и виброакустическое диагностирование [1].

При тестовом диагностировании на вход функционального механизма станка подаются тестовые сигналы, и, по реакции на них механизма станка оценивается его техническое состояние (N_1 и N_2).

Система технического диагностирования включает совокупность моделей и признаков технического состояния объекта, технических средств измерений и преобразования информации о признаках, способов и устройств принятия решения (диагноза технического состояния).

На рис. 1 показана обобщенная структурная схема технического диагностирования.

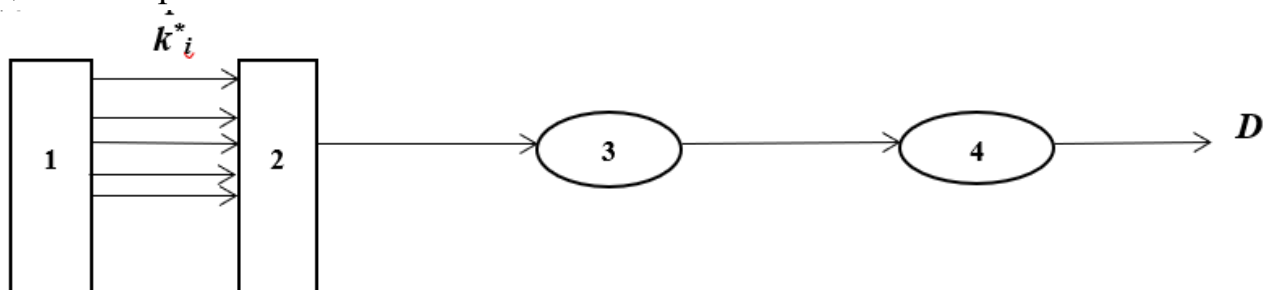


Рис. 1. Обобщенная структурная схема технического диагностирования

В результате предварительного анализа деревообрабатывающей машины *1* с использованием диагностических моделей определяются признаки технического состояния ($k^*_1, k^*_2, \dots, k^*_n$) и их допустимые значения, которые характеризуют неисправности или отказы [2].

В процессе функционирования (эксплуатации) станка датчиками *2* измеряются и преобразуются в необходимую информацию признаки в соответствии с принятым методом диагноза. Например, при виброакустической диагностике механизма резания фуговальных, рейсмусовых и строгальных станков, в качестве признаков технического состояния принимаются: дисбаланс валов и режущего инструмента, износ подшипников качения, нагрев при недостатке или загрязненности смазки подшипников, радиальное и осевое биение рабочих валов. Спектр вибросигналов датчиком *2* фильтруется по частотам, и выделяются основные составляющие вибрации, определяющие работоспособность механизма резания. В блоке сравнения *3* результаты контроля сравниваются с допустимым значением признаков и, в случае отклонения, соответствующая информация поступает в анализатор-формирователь *4*, в котором по соответствующему правилу принимаются решения о техническом состоянии механизма *D*, фиксируемое оператором.

Практическая реализация систем технической диагностики может отличаться от приведенной. Так, функции блока сравнения и анализатора-формирователя может выполнять оператор, который по выходным показателям датчиков сразу определяет техническое состояние механизма резания.

В настоящее время промышленностью выпускается большая номенклатура датчиков, отличающихся назначением и принципом работы [2]. Так, например, для измерения параметров вибрации используют вибропреобразователи, которые преобразуют механические колебания в электрический сигнал. При диагностике в основном применяют индукционные и пьезоэлектрические преобразователи. Частоту вращения измеряют механическими, электрическими, магнитоиндукционными, фотоэлектрическими и другими тахометрами.

Выводы

1. Техническое диагностирование современного деревообрабатывающего оборудования является актуальной задачей для лесной и деревообрабатывающей отрасли;
2. Для выбора вида и модели технического диагностирования деревообрабатывающего оборудования по первичной и вторичной переработке древесины необходим анализ его состояния и выбор главных признаков, приводящих к потере работоспособности;

3. С учетом условий и режимов работы оборудования необходима разработка средств диагностирования для осуществления проверок состояния главных функциональных механизмов дорогостоящего оборудования.

Библиографический список

1. Ключев В.В. Приборы и системы для измерений вибрации, шума и удара. Справочник. М., 2010. Кн1 - 310 с, Кн2 – 439с.
2. Санев В.И., Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. Резание древесины и древесных материалов. СПб.: «Лань», 2018. 456с.

Сведения об авторе

ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

Для выбора вида и модели технического диагностирования деревообрабатывающего оборудования по первичной и вторичной переработке древесины необходим анализ его состояния и выбор главных признаков, приводящих к потере работоспособности.

Ключевые слова: техническое диагностирование дереворежущих станков.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Динамика процесса прокатки сортиментов в брус

Хрусталева И.В., Сергеевичев В.В.

Введение.

Процесс прокатки круглых сортиментов в брус прямоугольного сечения, является одним из методов безотходной технологии переработки лесоматериалов. Для обоснования параметров установок для прокатки древесины с применением математических моделей, необходимо иметь показатели динамики процесса, и данные экспериментальных исследований [1]. К таким данным можно отнести: экспериментальные зависимости между параметрами заготовки, ее степенью деформирования и возникающими в процессе прокатки усилиями, показатели эффективности работы прокатных установок.

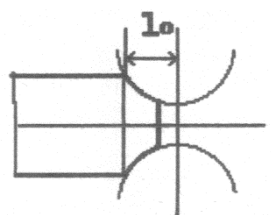
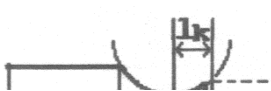
Эксперименты проводились на лабораторной установке, которая имитировала работу прокатного стана, состоящего из нескольких рабочих клеток, в условиях, максимально приближенных к реальным. Основное отличие от реальных условий заключалось в использовании коротких образцов. Предполагаемая длина перерабатываемых сортиментов находится в пределах 2-3 метра. Длина образцов принималась 400 мм, что, однако, позволяло изучить основные закономерности процесса. Размеры образцов по диаметру соответствовали предполагаемым диаметрам сортиментов 70-120 мм.

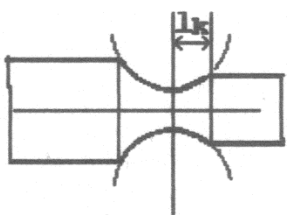
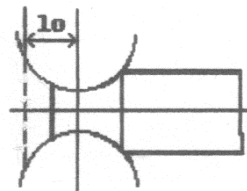
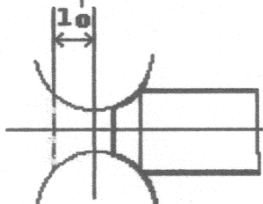
Конструктивно установка представляла собой одну рабочую прокатную клетку, состоящую из корпуса и четырех свободно вращающихся валков диаметром 200 мм, расположенных по взаимно перпендикулярным осям и образующих в просвете прямоугольное сечение размером 66x71 мм. Подача образца и создание необходимого усилия осуществлялось толкателем с гидравлическим приводом от пресса с максимальным усилием 400 кН. Испытательный стенд был оснащен комплексом измерительной аппаратуры, комплектом тарировочной аппаратуры, а также специально сконструированными датчиками осевого усилия и углов поворота валков [2].

В ходе проведения опытов для каждого испытуемого образца были получены временные диаграммы изменения осевого усилия проталкивания заготовки, диаграммы угла поворота валка и диаграммы давления в гидроцилиндре привода толкателя. Дифференцированием диаграммы угла поворота определяли угловую скорость вращения валка.

Для изучения закономерностей и связей между составляющими осевых и нормальных сил проведен анализ динамики процесса, основанный на обработке осциллограмм. Анализ большого количества диаграмм, позволил дать характеристику основных этапов динамики процесса и характер действия сил на каждом этапе. Схемы, описывающие динамические процессы, представлены в таблице 1.

Таблица 1. Динамика процесса прокатки сортиментов в брус

№№ п/п	Наименование этапа	Схема	Сила обозначение	изменен.
1	Вход заготовки в прокатную клетку		$T_{пл}$	растет
			P	растет
			$T_{тр}$	растет
			$T_{упр}^{спр}$	= 0
			$T_{упр}^{сл}$	растет
2	Вход заготовки в прокатную клетку		$T + T_{тр} + T_{упр}^{сл}$	растет
			$T_{пл}$	= const
			P	растет

			$T_{тр}$	растет
			$T_{упр}^{спр}$	растет
			$T_{упр}^{сл}$	= const
			$T + T_{тр} + T_{упр}^{сл} + T_{упр}^{спр}$	изменяет.
3	Прокатка		T	= const
			P	= const
4	Выход. Начальная фаза		$T_{пл}$	уменьш.
			P	уменьш.
			$T_{тр}$	уменьш.
			$T_{упр}^{спр}$	уменьш.
			$T_{упр}^{сл}$	= const
			$T + T_{тр} + T_{упр}^{сл}$	$> T_{упр}^{спр}$
5	Выход. Ускорение и отрыв		$T_{упр}$	$> T + T_{тр}$

Весь процесс можно условно разбить на пять этапов.

1 этап – заготовка вталкивается в прокатную клеть. Этап длится от момента соприкосновения заготовки с валками до момента, когда торец проходит минимальное проходное сечение. В этот промежуток времени возрастают нормальная сила (P) и осевые: упругая ($T_{упр}^{сл}$) и пластическая ($T_{пл}$) силы от деформирования заготовки. С ростом нормальной силы возрастает и осевая сила трения ($T_{тр}$). Торец заготовки перемещается на расстояние l_0 . Значение возникающей силы инерции, по сравнению с другими силами, незначительно. Суммарное осевое усилие, необходимое для проталкивания заготовки, будет возрастать от нуля до максимального значения;

2 этап – длится от момента прохождения торцом заготовки минимального сечения до момента получения выходного размера изделия. На этом участке происходит восстановление упругой деформации. Поэтому возникает и возрастает до максимального значения осевая сила ($T_{упр}^{спр}$), которая направлена в сторону движения заготовки и уменьшает упругую составляющую осевой силы слева. Увеличение длины линии контакта древесины с валками увеличивает силу сдавливания P и, следовательно, осевую силу трения $T_{тр}$. Поэтому, необходимое усилие для проталкивания может как уменьшиться, так и увеличиться;

3 этап – характеризуется установившимся процессом прокатки и длится до момента, когда задний торец заготовки подходит к валку. Суммарная осевая сила и сила сдавливания валков имеют практически постоянные значения при условии отсутствия возмущающих воздействий в виде наличия изменений размеров заготовки по длине, сучков и других дефектов;

4 этап – начинается выход заготовки из клетки. Длина линии контакта начинает уменьшаться. Уменьшается осевая сила от деформации заготовки, сила сдавливания валков, сила трения. Значения сил на участке восстановления деформации остаются неизменными. Сила проталкивания начинает уменьшаться и наступает момент, когда она станет равной нулю. Задний торец находится на расстоянии l_0 ;

5 этап – осевая сила от восстановления упругой деформации заставляет заготовку ускоряться, а затем и происходит ее выталкивание из клетки.

Полученные результаты экспериментальных исследований были использованы для разработки математической модели процесса деформирования древесины в установке для прокатки сортиментов, а также для исследования влияния различных факторов на показатели эффективности метода прокатки.

Заключение. Зона установившейся работы характеризуется незначительным разбросом значений сил около среднего. Отклонение от среднего составляет около 10%. Отмеченное превышение значений силы проталкивания на этапе входа заготовки не превышает 20% от среднего значения этой силы в зоне установившейся работы. При проектировании прокатных установок при расчете привода и прочности деталей прокатного стана рекомендуется увеличивать значение сил на 10-20%.

Библиографический список

1. Боровиков, А.М. Справочник по древесине/А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев. - М.: Лесная промышленность, 1989, - 294 с.
2. Хрусталева И.В. Обоснование параметров установки для прокатки сортиментов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / СПб.: ЛТА, 1993. - 158 с.

Сведения об авторах

ФИО	Хрусталева Инесса Владимировна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8636-3860
e-mail	innessachrustaliova@gmail.com

ФИО Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail alexander910@yandex.ru

Аннотация

Для обоснования параметров установок для прокатки древесины с применением математических моделей, необходимо иметь показатели динамики процесса, и данные экспериментальных исследований. Так как процесс прокатки мало изучен, то необходимо было экспериментально оценить возможность прокатки в разработанной установке.

Ключевые слова: установка, прокатная клеть, динамические процессы, усилия, древесина.

УДК 621.771.065

Разделы рубрикатора ГРНТИ 53.43.13

Разработка программы для определения рациональной емкости склада для лесопильных предприятий

Соколова В.А., Авагян Д.М.

В промышленном лесопилении эффективное использование лесосырьевых ресурсов и повышение производительности труда возможно при внедрении высокопроизводительного автоматизированного оборудования для подготовки и переработки сырья.

На кафедре математических методов в управлении разработана модель управления с использованием алгоритма имитационного цикла программы “SCLAD-10”.

На рисунке 1. Представлен алгоритм имитационного цикла программы “SCLAD-10”. Имитационный цикл начинается с формирования графического изображения технологического цикла на экране монитора и включения таймера блоком 1. Графическое изображение включает в себя следующие обозначения. С левой стороны строится гистограмма в соответствии с введенными границами сортировочных групп бревен и соответствующими для них объемами бревен. Границы объемов сортировочных групп обозначают минимальные партии запуска бревен на соответствующую бревнопильную

линию (LFP- фрезернопильная линия, L/Rлесопильная рама, LBL- ленточнопильный или круглопильный станки для индивидуального раскря бревен). Границы сортировочных групп численно отображаются напротив каждого столбца гистограммы. Под гистограммой в двух прямоугольниках численно обозначаются необходимая (E_n) и начальная (E_1) емкости склада рассортированного сырья [1].

Необходимая емкость склада - это сумма объемов пиловочника во всех сортировочных группах с учетом коэффициента превышения минимальных партий запуска. Объем же каждой сортировочной группы соответствует требуемому объему для его распиловки в течении периода работы лесопильного потока. Поэтому значение необходимой емкости склада рассортированного сырья выводится сразу при построении графического отображения имитации.

Начальная емкость склада рассортированного сырья рассчитывается только посредством имитации участка подготовки сырья к обработке и достаточности сырья для его раскря на всех бревнопильных потоках.

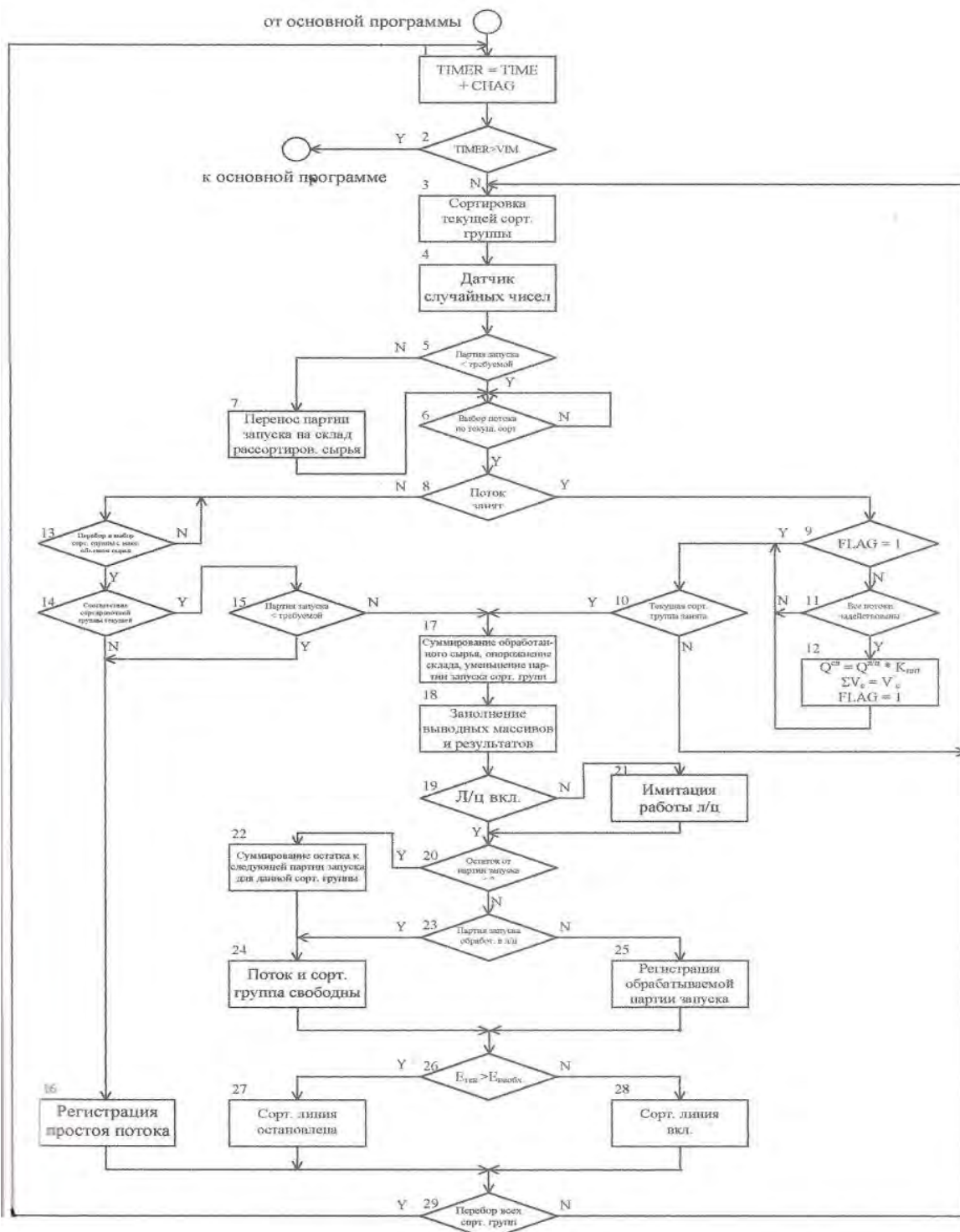


Рис. 1. Алгоритм имитационного цикла программы “SCLAD-10”

Блок 2 проверяет окончание заказанного времени имитации и при его достижении переводит подпрограмму к выводу результатов основной программы. Имитационный цикл представляет собой перебор всех сортировочных групп бревен с пошаговым расчетом во времени. Поэтому в блоке 3 осуществляется выбор текущей сортировочной группы, а также расчет количества X_i бревен i -ой размерно-качественной группы, поступающих на склад рассортированного сырья за время t [2].

Генерирование случайных чисел с нормальным законом распределения с заданным математическим ожиданием и среднеквадратичным отклонением для каждого бревнопильного потока осуществляется в блоке 4.

Поступающие длины бревен за шаг имитации генерируются по уравнению, описывающим полимодальную кривую:

$$f(L) = \frac{0.1}{0.11 * \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(L-3.85)^2}{2*0.11^2}} + \frac{0.6}{0.58 * \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(L-5)^2}{2*0.58^2}} + \frac{0.3}{0.18 * \sqrt{2\pi}} * e^{-\frac{(L-6.15)^2}{2*0.18^2}} \quad (1)$$

Величина сбega бревна в имитационной модели рассчитывается по формуле:

$$S_{сб} = \frac{\sqrt{\frac{8q-d^2}{\pi L}} - d}{L} \quad (2)$$

где q – объем бревна, m^3 ; d – вершинный диаметр бревна, m ; E – длина бревна, m .

Блок 5 сравнивает накопленную партию запуска с требуемой и направляет пиловочник либо на склад рассортированного сырья (блок 7), либо на накопление требуемой партии. Блок 6 определяет бревнопильный поток под текущую сортировочную группу с последующим определением в блоке 8 состояния потока. В случае простоя бревнопильного потока программа переходит к блоку 13, в котором перебираются все направленные на этот поток сортировочные группы, и выбирается с максимальным накопленным объемом. Однако возможны варианты, при которых ни одна группа не имеет объема для требуемой партии запуска [2].

В этом случае блоком 16 регистрируется простой бревнопильного потока и производится переход к следующему бревнопильному потоку, либо таймер времени имитации увеличивается на очередной шаг.

В случае достаточности сырья в накопленной партии запуска (блок 15) программа переходит к блокам 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25, в которых производится суммирование обработанного сырья данной сортировочной группы, уменьшение партии запуска на обработанный объем пиловочника, заполнение выводных массивов и результатов, сравнение обработанных и оставшихся в партии запуска объемов сырья для определения последующего состояния бревнопильного потока.

В блоках 26, 27, 28 осуществляется проверка состояния работы сортировочной линии и в зависимости от полученных текущих результатов ее включение или выключение.

В программе присутствует фиксатор, по которому регистрация обработанного сырья в лесопильном цехе начинается только при достаточности

сырья в партиях запуска для всех бревнопильных потоков, а также фиксируется начальная емкость склада рассортированного сырья. Поэтому, для проверки этого фиксатора в алгоритм включены блоки 9, 10, 11, 12. При этом в блоке 12 производится перерасчет интенсивности работы сортировочной линии с учетом введенного коэффициента превышения ее производительности над производительностью лесопильного цеха, т.к. накопление необходимого запаса осуществляется с максимальной технически возможной интенсивностью сортировочной линии.

На рис. 2 изображен график зависимости емкости склада рассортированного сырья от коэффициента превышения минимальных партий запуска $k_{\text{ппз}}$ с уровнем варьирования от 1 до 4 с шагом 0,5.

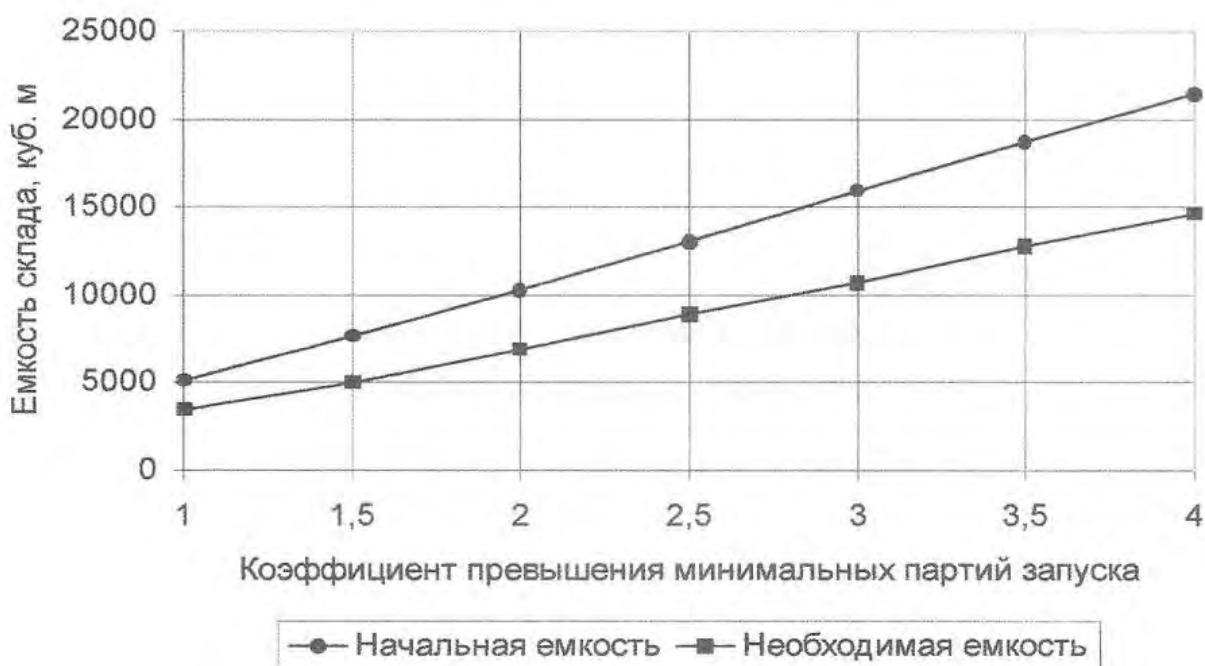


Рис. 2. График зависимости склада рассортированного сырья от коэффициента превышения минимальных партий запуска

Кривая необходимой емкости склада рассортированного сырья выражает объем сырья, необходимый для переработки его на бревнопильных потоках в течение выбранного ранее планируемого периода их работы. Кривая начальной емкости склада рассортированного сырья выражает объем сырья, при котором в лесопильном цехе начинается полный разворот всех бревнопильных потоков. Следует напомнить, что необходимая емкость склада рассортированного сырья рассчитывается аналитически в зависимости от посылки или скорости обработки каждой сортировочной группы и периодов работы бревнопильных потоков, а начальная емкость склада рассортированного сырья определяется путем имитации сортировки бревен на линии сортировки бревен, накопления на складе рассортированного сырья и зависит от количества и границ

сортировочных групп бревен, их распределения по бревнопильным потокам и периода работы бревнопильного оборудования [3].

Из графика видно, что емкость склада рассортированного сырья имеет линейную зависимость и может быть описана уравнением прямой с угловым коэффициентом k :

$$E = k \cdot k_{\text{ппз}} + b \quad (3)$$

где E – емкость склада, м^3 ; $k_{\text{ппз}}$ – коэффициент превышения минимальных партий запуска.

Область между линиями показывает диапазон работы сортировочной линии, т.е. ее включение и выключение по достижении верхнего или нижнего уровня емкости склада рассортированного сырья по мере накопления и обработки сырья.

После перебора всех сортировочных групп бревен программа вновь возвращается к блоку 1, в котором таймер увеличивается на шаг расчета имитации. Выход из имитационного цикла осуществляется по достижению заказанного времени имитации (блок 2) или по выработке требуемого объема сырья.

Предложенная программа предназначена для определения рациональной емкости склада рассортированного сырья для лесопильных предприятий различной производственной мощности.

Библиографический список

1. Коршунов А.Н. Сортировка пиловочных бревен – М: Лесная промышленность. 1979 – 104с.
2. Кулиш В.Г., Коротов С.С. Распределение пиловочных бревен по диаметрам. Научные труды ЦНИИМОД 1981. с.10-14
3. Редькин А.К. Управление операциями на лесных складах. – М: Лесная промышленность, 1979 – 208 с.
4. Нагель А.А., Губкина Е.П. Новая технология складских работ лесопильного предприятия на базе комплексной механизации склада сырья. 1979 – с.16-17.
5. Авагян Д.М., Соколова В.А. Имитационная модель лесопильного производства как инструмент комплексного исследования параметров процесса производства пиломатериалов. В сборнике: Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы XVIII Международной научно-технической конференции. Вологда, 2020. С. 183-185.

Сведения об авторах

ФИО	Соколова Виктория Александровна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102

e-mail sokolova_vika@inbox.ru

ФИО Авагян Д.М.

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код –

e-mail valod.avagyan@rambler.ru

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы оптимизации определения рациональной емкости склада сырья для лесопильных предприятий за счёт использования алгоритма имитационного цикла программы “SCLAD-10”. В рамках достижения данной цели предложенная модель управления была проанализирована на определенных входных данных, приведены тестовые примеры, показывающие работоспособность и безопасность алгоритма имитационного цикла программы “SCLAD-10”.

Ключевые слова: имитационное моделирование, хранение древесины, склад, емкость склада.

УДК 630

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.00

Обоснование оптимального варианта технологического процесса изготовления продукции методом экспертных оценок и расстановки приоритетов

Ладиков И.С., Соколова В.А.

Использование склеивания в деревообрабатывающей промышленности и при производстве клеёных деталей и конструкций из массивной древесины, обусловлено возможностью полнее использовать низкосортные пиломатериалы, повышать формоустойчивость, жёсткость, придавать готовой продукции требуемую форму, изготавливать детали крупных размеров и сечений, получать прочные конструкции при малой объёмной массе, устранять анизотропию прочностных и упругих свойств древесины.

Конструкции из клееной древесины имеют на 50-70% большую прочность по сравнению с массивной за счёт особенностей склейки деталей-ламель таким образом, чтобы их древесные волокна – годовичные слои, были обращены наружу, что значительно повышает прочность. В отличие от цельной древесины, в клеёном щите или бруске отсутствуют дефектные участки

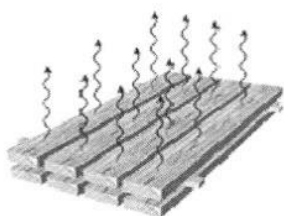
древесины (удалены), перед склейкой просушенные доски обрабатываются экологически безопасными антисептиками, что повышает долговечность и защищённость от воздействия окружающей среды[1].

В отличие от цельной клеёная древесина сохраняет свою форму и размеры с течением времени. Она не даёт усадки, не скручивается и не изгибается. Это обусловлено отсутствием в клеёной древесине внутренних напряжений и особенно актуально для строительного бруса и т.д.

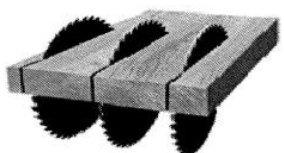
Перед склейкой древесины из неё вырезаются сучки и дефекты, заготовки подбираются по цвету и текстуре. Поэтому изделия из клеёной древесины имеют безупречный внешний вид, оптимальную влажность не более 12%, не растрескиваются, как цельная древесина, при сушке и с течением времени.

Технологический процесс получения клеёного бруса представлен в таблице 1.

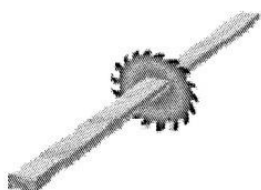
Таблица 1. Технологический процесс получения клеёного бруса



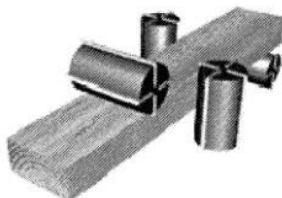
Обеспечение влажности пиломатериалов в пределах $10\% \pm 2\%$ и снятие внутренних напряжений



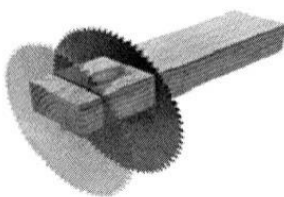
Получение заготовок необходимой ширины



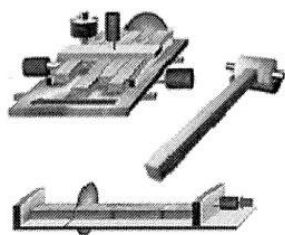
Устранение покоробленности кривизны заготовок для уменьшения припуска на дальнейшую обработку и отрезка торцев заготовок с трещинами после сушки



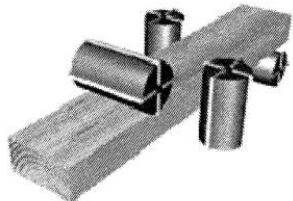
Вскрытие дефектов заготовок и обеспечение базовых поверхностей для последующей обработки



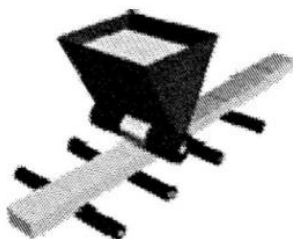
Получение бездефектных заготовок с вырезкой всех дефектов в соответствии с ГОСТ 2140-81 для изготовления трехслойного оконного бруса по ГОСТ 30972-2002 [2, 3]



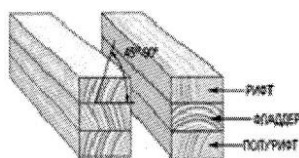
Нарезание на торцах заготовок зубчатых шипов, нанесение клея толщиной 0,1...0,3 мм на шипы и сращивание по длине бездефектных заготовок в ламель с торцовкой в размер



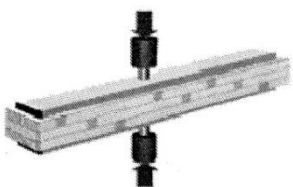
Продольное фрезерование с целью снятия наплывов клея, ступенек между заготовками, получение точных геометрических форм и высокой чистоты поверхности пластей в пределах 200 мкм для склеивания по пласти



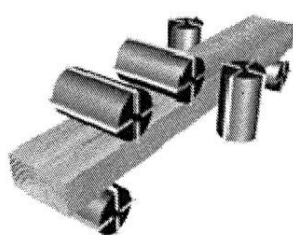
Нанесение клея толщиной 0,1...0,3 мм на плоские поверхности ламелей для дальнейшего склеивания.



Ориентирование ламелей перед склеиванием по качеству в соответствии со стандартом DIN EN.



Склеивание обработанных ламелей по пласти, на гладкую фугу с целью получения трехслойных высококачественных клееных оконных брусков прессованием с равномерно распределенным усилием для исключения несклеенных мест и разнотолщинности клеевого шва



Продольное фрезерование бруска с целью снятия наплывов клея после склеивания по толщине, ступенек между склеенными плетями, получение точных геометрических форм и чистоты поверхности не более 200 мкм по ГОСТ 7016-2013 [4]



Формирование готового бруса на заданные размеры по длине



Упаковка готовых изделий в плёнку для отправки потребителю

Сырьем для сращивания обычно являются короткомерные и низкосортные пиломатериалы влажностью не более 15%. В производстве крупноразмерных изделий сращиванию подлежат доски большой длины (до 6 м). Минимально допустимая длина составляет от 0,1 до 0,5 метров в зависимости от используемого оборудования и качества сырья. Средняя длина может быть очень различной, но обычно колеблется в диапазоне $1 \pm 0,5$ метров. Некоторое импортное оборудование, предназначенное только для сращивания короткомерных пиломатериалов, устанавливает максимальную длину заготовок до 1 м.

Выбор оборудования с использованием методов экспертных оценок и расстановки приоритетов [5] представлен на рисунке 1.

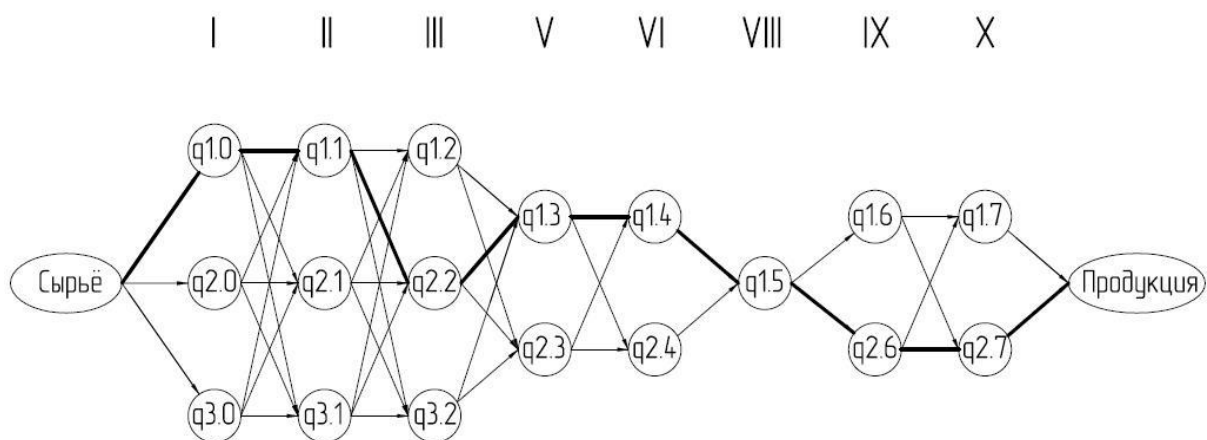


Рис. 1. Многовариантный технологический процесс в виде ориентированного графа

Схема технологического процесса:

I. Обработка в размер по сечению.

q1.0 Многосторонний продольно-фрезерный станок

1.1 Unimat

1.2 SWT Kuper

1.3 Variomat

1.4 Rex

1.5 SCM oikos X

1.6 Beaver 633 M

q2.0 Фуганок,

q3.0 Рейсмус

II. Нанесение клея.

q1.1 Одновальный клеенаносящий станок

1.1 УНК-1.0

1.2 S1R 250

1.3 УНК 009

q2.1 Экструзия

q3.1 Ручное нанесение. Кисть, валик.

III. Склеивание щита (прессование).

q1.2 Пресс горизонтальный

q2.2 Пресс вертикальный

1.1 Griggio

1.2 Stromab

1.3 Бакаут

q3.2 Ваймы

IV. Технологическая выдержка.

V. Обработка в размер по сечению.

q1.3 Многосторонний продольно фрезерный станок

1.1 Unimat

1.2 SWTKuper

1.3 F 410 NOVA

q2.3 Рейсмус

q3.3 Фуганок

VI. Раскрой на заготовки.

q1.4 Продольный

1.1 SI 400 EP Class

1.2 SavFlex

q2.4 Поперечный

VIII. Торцевание (Однопильные)

q1.5 Автоматизированный торцовочный станок

1.1 SC-230

1.2 SLIM LINE REINHARDT

1.3 DIMTER OptiCut S90

IX. Фрезерование

q1.6 Одношпиндельные с ЧПУ

q2.6 Многошпиндельные с ЧПУ

1.1 BIESSERoverB

1.2 UniteamExtra

1.3 CNCUmax

X. Шлифование

q1.7 Полуавтоматическое

q2.7 Ручное

1.1 ComecLonls (лентой)

1.2 S 220 (щёткой)

1.3 HX 200

Заключение.

Повышение эффективности использования пиломатериалов заключается в рациональной переработке короткомерных пиломатериалов путем раскроя их с последующим склеиванием, а также, что наиболее важно, путем оптимизации раскроя необрезных пиломатериалов, это позволяет увеличивать выход готовой продукции без затрат на дополнительную обработку.

Так же в данной работе был произведён выбор оборудования, для производства брусковых элементов начиная от пиломатериалов заканчивая шлифованием под отделку мебели с использованием методов экспертных оценок и расстановки приоритетов, а также обоснован технологический процесс в виде ориентированного графа.

Библиографический список

1. Ладиков И.С., Соколова В.А., Байрамов Хазрет, Курбанбаев Анвар. Разработка модели оптимизации для решения задач максимального выхода готовой продукции лесопильного предприятия. Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам исследовательских работ, 2019, с. 5-9.
2. ГОСТ 2140-81. Видимые пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения, М.: Стандартинформ, 1982 г.
3. ГОСТ 30972. Заготовки и детали деревянные клееные для оконных и дверных блоков. Технические условия. 2003 г., с. 3-11.
4. ГОСТ 7016-2013. Изделия из древесины и древесных материалов. Параметры шероховатости поверхности. М.: Стандартинформ, 2014 г., с. 3-6.
5. Чубинский А.Н., Варанкина Г.С., Русаков Д.С. Учебное пособие. Магистерская диссертация. Темплан, СПбГЛТУ, 2017 г., с. 24-41.

Сведения об авторах

ФИО	Соколова Виктория Александровна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Ладиков И.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	Иуа.1377@yandex.ru

Аннотация

В статье рассматривается вопрос повышения эффективности использования пиломатериалов. В статье представлен технологический процесс получения клеёного бруса. Произведен выбор оборудования с использованием методов экспертных оценок и расстановки приоритетов. Представлен и обоснован технологический процесс в виде ориентированного графа.

Ключевые слова: склеивание, клееные детали, деревообработка, метод экспертных оценок.

УДК 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.00

Автоматизация системы удаления пыли и стружки на производственном участке

Попова Д.А., Марков В.А., Соколова В.А., Алексеева Е.А.

Введение.

Машиностроение является важнейшей отраслью народного хозяйства страны, сердцевиной всей тяжелой промышленности.

Оно занимает ведущее место в дальнейшем росте экономики, обеспечивает материальную основу технического прогресса всех отраслей народного хозяйства, ускоряет развитие интенсификации и повышает эффективность производства на базе научно-технического прогресса.

Главной задачей современного машиностроения является создание средств производства, дальнейшего повышения научно-технического уровня и качества изделий, а также поддержание требуемого уровня безопасности жизнедеятельности на предприятиях.

Основной текст.

Помимо основных операций, технологический процесс изготовления деталей также включает в себя вспомогательные, обеспечивающие бесперебойное протекание производства. Автоматизация таких операций может существенно сократить время их проведения, понизить трудоемкость, а также повысить уровень безопасности. Зачастую удаление пыли и стружки вручную может вызывать травмы у рабочих. Избежать этого поможет грамотно спроектированная система по очистке рабочего места.

Основными элементами пневматической системы удаления пыли и стружки от режущих инструментов являются: специальные пылеотделители, транспортная сеть, стружко-отделитель, пылеотделитель (фильтр) и побудитель тяги воздуха (рис. 1). Различают индивидуальные пылеотсасывающие системы с простой транспортной

сетью (рис. 1, а), предназначенные для отдельных станков, и групповые пылестружко-отсасывающие системы со сложной транспортной сетью (рис. 1, б и в), предназначенные для группы станков и автоматических линий.

Рассматриваемые пневматические системы работают на всасывание. В связи с этим стружкоотделитель, а во многих случаях и пылеотделитель (фильтр) включаются в систему до побудителя тяги воздуха.

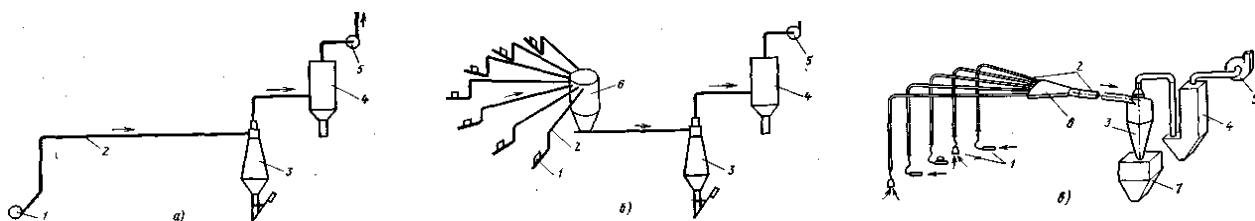


Рис. 1. Схемы различных пневматических систем удаления пыли и стружки от режущих инструментов: а – с простой сетью; б и в – со сложной сетью

Все представленные системы состоят из однотипных элементов: 1 – пылестружко-приемник; 2 – транспортная сеть (трубопроводы); 3 – стружкоотделитель; 4 – пылеотделитель; 5 – побудитель тяги воздуха; 6 – коллектор; 7 – стружкосборник.

Для нормального функционирования пневматической системы, спроектированной и изготовленной для конкретных условий обработки хрупких материалов, важное значение имеет установленный на предприятии порядок надзора и профилактического ремонта пневматической системы в соответствии с санитарными правилами организации технологических процессов и гигиеническими требованиями к производственному оборудованию.

При фрезеровании хрупких материалов основной поток стружки и пыли имеет в зоне резания форму, приближающуюся к форме клина. При сверлении хрупких материалов поток элементной стружки имеет воронкообразную, колоколообразную или более сложную форму в зависимости от направления подачи сверла (сверху вниз, снизу-вверх и т. д.).

Направление потока стружки и пылевых частиц при фрезеровании цилиндрическими и дисковыми фрезами всегда определяется направлением вращения фрезы. Величина угла отклонения потока стружки от обрабатываемой поверхности зависит от режимов обработки и главным образом от глубины резания, а также от физико-механических свойств обрабатываемого материала. При фрезеровании плоскостей торцовыми фрезами направление движения потока стружки и пылевых частиц определяется главным образом характером фрезерования (встречное или попутное) и режимами резания. Оценив производственные условия,

предлагается внедрение современной системы очистки воздуха Euromate (рис. 2).

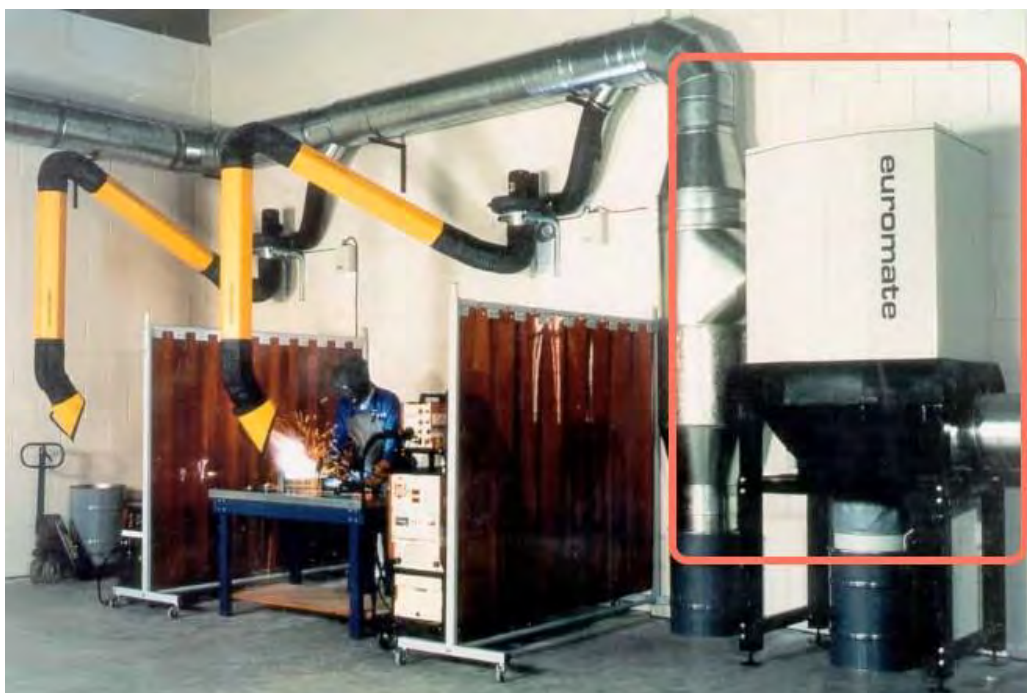


Рис. 2. Система очистки воздуха Euromate

При современных режимах резания хрупких материалов поток стружки (особенно металлической) обладает большой кинетической энергией и способен перемещаться на 3-6 м от режущего инструмента. Поток стружки легко обтекает гладкие криволинейные поверхности, что следует использовать для целей его улавливания и организованного отвода из зоны резания. Предлагаемая система очистки хорошо зарекомендовала себя на ведущих предприятиях машиностроительной отрасли, показала надежность и простоту обслуживания.

Пылестружкоприемники системы Euromate являются начальным элементом пневматической системы, они обеспечивают наиболее полное улавливание стружки и пылевых частиц непосредственно в зоне резания. Это достигается не только соответствующей конструкцией приемника, расположенного вблизи режущего инструмента, но и рациональным взаимодействием воздушных потоков и потока стружки и пыли вблизи его всасывающего отверстия.

При проектировании пылестружкоприемников необходимо учитывать форму, направление и кинетическую энергию потока стружки и пылевых частиц, образующихся в заданных условиях резания, а также форму, размер и массу элементной стружки.

Входное отверстие пылестружкоприемника следует располагать встречно к направлению потока стружки и пылевых частиц. Геометрическая форма

входного отверстия пылестружкоприемника предпочтительна прямоугольная, приближающаяся к квадрату. В отдельных случаях (например, для сверления) целесообразно применение щелевых приемников с входным отверстием для стружки и сверла в виде окружности.

Расстояние от рабочей части режущего инструмента до входного отверстия пылестружкоприемника должно быть минимально возможным, так как скорость воздушного потока за всасывающим отверстием приемника резко уменьшается.

Для станков с программным управлением пылестружкоприемники целесообразно выполнять органически связанными с режущим инструментом или предусматривать устройства, обеспечивающие автоматический ввод пылестружкоприемников в зону резания по программе, соответствующей вводу в рабочую зону режущих инструментов.

Автоматизированные системы удаления стружки можно разделить на индивидуальные и групповые. Для оптимальной компоновки данных систем в цеху необходимо определить наиболее проблемные участки и оценить целесообразность размещения оборудования исходя из планировки помещения. На рисунке 3 представлены примеры индивидуальной и групповой системы удаления стружки.

Степень сосредоточенности станков, на которых обрабатываются материалы одной марки, в большинстве случаев является решающим фактором при выборе типа пневматической системы – индивидуальной или групповой.

Индивидуальными пневматическими системами удаления стружки и пыли от режущих инструментов целесообразно оборудовать не только одиночные станки, но и автоматические линии, если участки обильного пылестружкоотделения расположены на значительном расстоянии друг от друга. В ряде случаев целесообразно сочетание пневматической системы удаления стружки и пыли с механическими или вибрационными транспортерами. При этом начальным звеном должна быть пневматическая система.

При проектировании групповых пневмотранспортных сетей следует уделять внимание выбору и расчету наиболее рациональных сборных коллекторов. Из опыта пневматического транспортирования стружки и пыли, образующихся при обработке хрупких металлов и неметаллических материалов на металлорежущих станках, а также отходов, образующихся при обработке древесины на деревообрабатывающих станках, могут быть рекомендованы цилиндрический, конический и секторный коллекторы и коллектор-люстра.

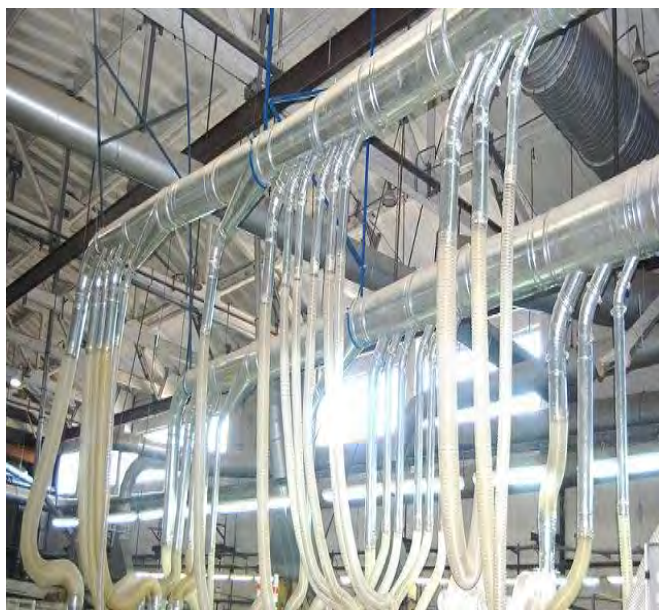


Рис. 3. Системы удаления стружки:

а – индивидуальная система, *б* – групповая система

Для непоточного крупносерийного и массового производственным процесса производства, целесообразно будет совмещать индивидуальные и групповые системы удаления пыли. Многие из представленных систем имеют достаточно высокую стоимость, поэтому тщательная проработка подробный и анализ технологических факторов помогут принять решение о необходимости применения той или иной системы. Но экономия в данном вопросе, с нашей точки зрения, недопустима, так как безопасность рабочих является приоритетом для солидных компаний.

Библиографический список

1. Каменская А.А. Расчет припусков на механическую обработку резанием: Метод. разработка / Алт. политехн. ин-т. им. И.И. Ползунова. – Барнаул: Б.и., 2001. – 89с.
2. Смирнов А.В. Безопасность жизнедеятельности при производстве деталей, методические указания, СПб: СПбГПУ, 2017 – 32 с.
3. Громских А.П. Автоматизация производственного процесса в машиностроении, СПб: СПбГПУ, 2017 – 156 с.
4. Трофимов А.В., Марков В.А. Основы технологии машиностроения, Учебное пособие, СПб: СПбГЛТУ, 2014 – 82 с.

Сведения об авторах

ФИО	Соколова Виктория Александровна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru

ФИО Попова Даниэлла Андреевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail lesingle23malibu@mail.ru

ФИО Марков Виктор Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 1503-7932
e-mail mactor85@mail.ru

ФИО Алексеева Елена Аркадьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3535-5149
e-mail olgakameneva@gmail.com

Аннотация

Удаление пыли и стружки относится к вспомогательным операциям технологического процесса и обеспечиваем бесперебойное протекание производства. Автоматизация таких операций может существенно сократить время их проведения, понизить трудоемкость, а также повысить уровень безопасности. Зачастую удаление пыли и стружки вручную может вызывать травмы у рабочих. Избежать этого поможет грамотно спроектированная система по очистки рабочего места.

Ключевые слова: безопасность труда, системы удаления пыли, очистка воздуха, индивидуальные системы очистки, групповые системы очистки.

УДК 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.00

Применение алгоритмов причинно-следственных связей дефектов в технологии отделки древесины

Уткин Л.В., Соколова В.А., Иванов А.М.

Характеристика линии технологического процесса включает узел обеспыливания, грунтовочный станок, зоны УФ-сушки высокого напряжения, шлифовальный станок, узел обеспыливания, лаконоливочную машину, зону испарения, зону УФ-сушки низкого напряжения, УФ-сушки высокого напряжения, зоны инфракрасной сушки для матовых ЛКМ, зоны охлаждения, узел переворота деталей, шлифовальные и полировальные станки. Этапы технологического процесса совпадают с функциональным назначением отдельных частей линии [2].

Согласно технологической инструкции ООО «Напольные покрытия» установлены следующие требования к операции лакирования щитовых мебельных деталей полиэфирным лаком:

- Шероховатость поверхности древесины, подлежащей лакированию, должна быть не более 16 мкм;
- Поверхность деталей мебели, облицованных материалом облицовочным на основе пропитанных текстурных бумаг с глубокой степенью отверждения смолы, должна быть без воздушных пузырей, разрывов, просачивания клея, вмятин, загрязнений, смоляных полос [4];
- Влажность деталей мебели должна быть 6-10%;
- Лаконоливочную машину после работы тщательно промывают ацетоном.

Технические характеристики полиэфирной линии УФ-отверждения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Технические характеристики полиэфирной линии УФ-отверждения

Основные технические характеристики	Значения
1. Рабочая ширина, мм	1300
2. Минимальная длина детали, мм	300
3. Толщина детали, мм	3-150
4. Допуск на толщину, мм	0.15
5. Скорость перемещения (регулируется ступенчато), м/мин	2.5-15.9
6. Длина линии, м	148

Отделка щитовых элементов мебели (процесс лакирования) происходит при следующих параметрах режима (таблица 2).

Таблица 2. Параметры режима процесса лакирования

Параметры	Режимы
1. Температура лака, °С	25-28
2. Температура поверхности щита, °С	20-30
3. Вязкость рабочего раствора лака, с	33-37
4. Расход рабочего раствора лака, г/м ²	260 - 350
5. Температура в зоне испарения, °С	20-25
6. Влажность поверхности детали, %	2-16
7. Скорость подачи транспортера, м/мин	2.5-3.9

Этот набор параметров является не полным для характеристики качества покрытий, т. к. качество во многом определяется спросом. На основании этого построим таблицу (матрицу) влияния параметров технологического процесса на показатели качества (дефекты), где «1» обозначает, что влияние существует, а «0» – влияние отсутствует [3].

Из выше изложенного видно, что имеется 4 параметра качества операций, причем обнаружение их происходит в основном на последних операциях, а в ряде случаев уже после последних операций технологического процесса, а причины их возникновения присутствуют на различных этапах, в том числе на этапе подготовки материалов (рис. 1).

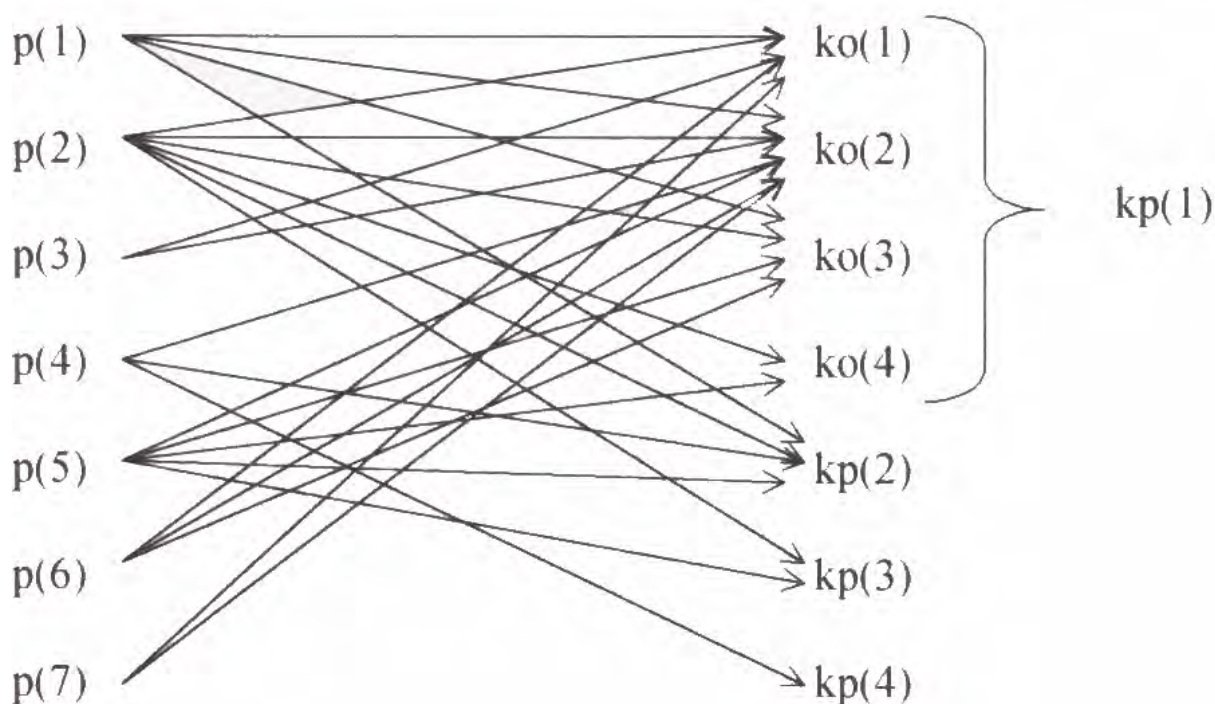


Рис. 1. Матрица влияния параметров технологического процесса на дефекты

Исследовав причинно-следственную связь можно сделать вывод о причинах возникновения того или иного дефекта и зная влияние того или иного дефекта предсказать степень возможности его появления.

Полученные сведения были переработаны в два алгоритма с использованием предикатов первого порядка (или, иными словами, с использованием условных предложений вида ЕСЛИ ... ТО ... ИНАЧЕ ...). Первый алгоритм устанавливает причинно-следственные связи между параметром причины дефекта и вероятностью его появления. Параметры причины и вероятности появления дефекта фигурируют в алгоритме не своими количественными значениями, а теми лингвистическими переменными, которые были подобраны для них при опросе эксперта [1]. Второй алгоритм по известному виду дефекта, его вероятности и причине его появления предлагает соответствующий метод устранения. Поскольку первый алгоритм является вспомогательным по отношению ко второму, то ограничимся приведением второго алгоритма, используя математическую логику:

Дефект пузырьки.

ЕСЛИ температура лака низкая, ТО вероятность появления дефекта большая, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ температура лака большая, то вероятность появления дефекта мала, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ температура лака нормальная, ТО вероятность появления дефекта очень маленькая;

ЕСЛИ температура поверхности щита мала, ТО вероятность появления дефекта большая, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ температура поверхности щита мала, ТО вероятность появления дефекта большая, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ температура поверхности щита норма, ТО вероятность появления дефекта мала;

ЕСЛИ вязкость рабочего раствора лака чрезмерная, ТО вероятность появления дефекта большая, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ вязкость рабочего раствора лака мала, ТО вероятность появления дефекта мала, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ вязкость рабочего раствора норма, ТО вероятность появления дефекта мала;

ЕСЛИ расход рабочего раствора лака выше нормы, ТО вероятность появления дефекта большая, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ расход рабочего раствора лака ниже нормы, ТО вероятность появления дефекта мала, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ расход рабочего раствора лака норма, то вероятность появления дефекта мала;

ЕСЛИ температура в зоне испарения большая, ТО вероятность появления дефекта большая, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ температура в зоне испарения низкая, ТО вероятность появления дефекта мала, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ температура в зоне испарения норма, ТО вероятность появления дефекта мала;

ЕСЛИ влажность поверхности детали большая, ТО вероятность появления дефекта большая, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ влажность поверхности детали малая, ТО вероятность появления дефекта средняя, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ влажность поверхности детали нормальная, ТО вероятность появления дефекта мала;

ЕСЛИ скорость подачи детали высокая, ТО вероятность появления дефекта большая, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ скорость детали низкая, ТО вероятность появления дефекта мала, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ скорость детали нормальная, ТО вероятность появления дефекта мала.

Дефект неровности.

ЕСЛИ расход рабочего раствора лака ниже нормы, ТО вероятность появления дефекта большая, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ расход рабочего раствора лака выше нормы, ТО вероятность появления дефекта мала, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ расход рабочего раствора норма, ТО вероятность появления дефекта мала;

ЕСЛИ влажность поверхности детали большая, ТО вероятность появления дефекта большая, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ влажность поверхности детали малая, ТО вероятность появления дефекта средняя, ИНАЧЕ,

ЕСЛИ влажность поверхности детали нормальная, ТО вероятность появления дефекта мала.

Сделан вывод о причинах возникновения того или иного дефекта и зная влияние дефекта можно предсказать степень возможности его появления. На основании математической логики был составлен алгоритм с использованием предикатов первого порядка. Этот алгоритм позволяет нам:

- собрать опыт многих экспертов в единый пакет, что уменьшает возможность появления внештатных ситуаций;
- установить возникновение дефектов на стадии предпосылок к их возникновению, т. е. мы отслеживаем их появление;
- автоматизировать процесс мониторинга диагноза и прогноза дефектов;
- рассмотренная методика может стать ядром программного продукта управления качеством отделяемых изделий.

Библиографический список

1. Модели отбора наиболее значимых факторов при исследовании свойств лакокрасочных покрытий. Соколова В.А. В сборнике: Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции. Отв. редактор В.А. Соколова. 2020. С. 452-458.
2. Зигельбойм С.Н. «Дефекты ПЭ покрытий» (Меб., вып. 3, 1976).
3. Справочник мебельщика / Под редакцией члена-корреспондента РАЕН В.П. Бухтиярова; Всероссийский проектно-конструкторский и технологический институт мебели, Московский государственный университет леса. — 3-е издание, переработанное. — Москва: Издательство Московского государственного университета леса, 2005
4. Справочник по защитно-декоративным покрытиям [Текст] / Я.В. Вайнер, М.А. Дасоян, А.Я. Дринберг [и др.]; Под ред. лауреата Сталинской премии д-ра техн. наук проф. Н.П. Федотьева. - Москва; Ленинград: Машгиз. [Ленингр. отд-ние], 1951. - 480 с., 2 л. черт.: ил.; 23 см.

Сведения об авторах

ФИО Соколова Виктория Александровна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5116-5102
e-mail sokolova_vika@inbox.ru

ФИО Уткин Лев Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 6420-0722
e-mail mmu@spbftu.ru

ФИО Иванов Андрей Михайлович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код –
e-mail andreyiv1997@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются дефекты покрытия древесины при обработке её поверхности полиэфирным лаком. Для анализа причинно-следственных связей, предшествующих появлению дефектов используется матрица. На основании полученных данных получено 2 алгоритма для прогнозирования дефектов «пузырьки» и «неровности».

Ключевые слова: древесина, дефект, лакирование, пузырьки, неровности, алгоритм.

УДК 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.00

Современные системы подготовки древесного сырья для производства целлюлозы и древесной массы

Ильюшенко Д.А., Локштанов Б.М., Машутин А.С., Орлов В.В.

Введение.

Основные целлюлозно-бумажные предприятия России имеют большие мощности по производству продукции по варке, исчисляемые сотнями тысяч тонн в год, что требует обеспечения их древесным сырьем в объемах от 1 до 6 млн .пл. м³ в год. на каждом объекте. Большие объемы обработки древесного сырья вызывают большие проблемы в древесно-подготовительном производстве предприятий, связанные с сочетанием производительности линий по выработки щепы с производительностью варочных котлов, особенно котлов непрерывного действия типа «Камюр», и других агрегатов.

При создании поточных линий по подготовке древесного сырья (производству технологической щепы из балансов) основное внимание уделяется обеспечению функционирования всей линии с наивысшими показателями как по производительности, так и по качеству вырабатываемой щепы.

Содержание статьи.

Рассмотрим несколько вариантов поточных линий подготовки древесного сырья для обеспечения щепой целлюлозное производство производительностью 1 000 т/сутки. Примем, что на 1 тонну целлюлозы потребуется 5 пл. м³ щепы или в год потребуется около 1,8 млн. пл. м³

древесины (балансов), учитывая, что на ЦБК могут быть использованы балансы длиной от 1,5 до 6 м [1], поэтому рассмотрим варианты линий, рассчитанные на обработку разных длин бревен.

В составе линии рассматриваем современное высокопроизводительное оборудование по распиловке, окорке балансов, рубке их на щепу, сортированию щепы, оборудование по формированию и разгрузки куч щепы. Распиловку балансов на отрезки требуемой длины производят на слешерных установках (одно или много пильных). Часовая производительность слешера $P_{ч.с}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{ч.с} = \frac{3600\pi u d_i^2 \sum_{i=1}^n L_i f_c \phi_{1с}}{4l_{кр}}, \text{ пл.м}^3/\text{ч}, \quad (1)$$

где u – скорость подачи бревен (балансов) на пилы слешера, м/с; d_i – диаметр распиливаемого бревна, м; L_i – длина распиливаемого бревна, м; n – количество распиливаемых бревен в час; $l_{кр}$ – расстояние между захватами поперечного транспортера подачи бревен на пилы слешера, м; f_c – коэффициент заполнения захватов слешера; $\phi_{1с}$ – коэффициент использования рабочего времени.

Анализируя формулу (1) и учитывая опыт работы слешеров на предприятиях, можно отметить, что установка на слешерах пил диаметром, 2 м, создание ламелей, обеспечивающих устойчивую цепь бревен, позволяет поднять производительность слешеров до 200 пл.м³/час. Кроме того, слешерные установки могут быть укомплектованы с убирающимися пилами, что позволяет из разных длин бревен выпиливать требуемые по длине отрезки, а также через слешер пропускать уже короткие бревна, доставляемые на ЦБК от лесозаготовителей.

Обычно следующей операцией в поточной линии является окорка, которая осуществляется в корообдирочных (окорочных) барабанах непрерывного действия, выполняющих роль как транспортной единицы, так и окорочной машины [2], производительность которых $P_{ч.б}$ можно определить по формуле (2)

$$P_{ч.б} = K\varepsilon\phi_{б}\phi_{1б} \frac{\pi D^2 L}{4T}, \text{ пл.м}^3/\text{ч}, \quad (2)$$

где K – коэффициент производительности барабана как окорочной единицы; ε – полндревесность окашиваемой массы балансов; $\phi_{б}$ – степень заполнения объема барабана древесиной; D – диаметр барабана, м; L – длина барабана, м; T – время прохождения древесины через барабан, ч; $\phi_{1б}$ – коэффициент использования рабочего времени барабана.

В этой формуле коэффициент производительности K зависит от большого количества факторов, главным из которых является состояние коры на древесине (порода древесины, влажность и толщина коры), технология окорки (параметры и расход пара, воды и др.). Чем меньше силы сцепления коры с

древесиной, тем выше коэффициент производительности K ; поэтому основная задача окорки древесины в барабанах сводится к снижению сил сцепления коры с древесиной путем применения горячей воды или пара. С другой стороны, необходимым условием окорки является наличие достаточных сил трения между балансами, превышающих силы сцепления коры с древесиной. Наибольшие силы трения отмечаются у балансов при сухом трении (сухая окорка), которые сохраняются при использовании пара.

В связи с тем, что большинство предприятий ЦБП уже применяют сухую окорку в барабанах [3], мы не рассматриваем систему оборудования по очистке воды при мокрой окорке.

Полнодревесность окариваемой массы балансов зависит от размеров балансов или соотношения длины балансов и диаметра барабана, а также от состояния поверхности окариваемых бревен (от коэффициента трения). Производительность барабана увеличивается при увеличении диаметра барабана. Длина барабана, в основном, влияет на качество обработки (окорки) балансов, так как барабан должен обеспечивать и подготовку балансов к окорке (размораживание, замочку) и собственно окорку. Обычно соотношение длины и диаметра барабана принимают 6:1. Производительность барабана увеличивается с возрастанием скорости его вращения за счет сокращения времени прохождения балансов через барабан. Увеличение скоростей может быть осуществлено до определенных пределов, составляющих 0,45-0,65 критической скорости, при которой балансы центробежными силами прижимаются к обечайке барабана и вращаются вместе с ним – окорка прекращается.

В вариантах поточных линий мы рассмотрим барабаны разной производительностью:

- барабан диаметром 4 м и длиной 25 м, производительностью 150 пл. м³/час;
- барабан диаметром 5 м и длиной 30 м, производительностью 200 пл./м³/час;
- барабан диаметром 6 м и длиной 35 м, производительностью 350 пл. м³/час.

Такие барабаны выпускаются различными фирмами [1]. Увеличивая диаметр барабана и его длину можно получить высокие показатели по производительности и качеству окорки, но значительно увеличивается затраты электроэнергии и расход теплоносителя на 1 пл. м³ древесины.

Рубка балансов производится на многоножевых рубительных машинах, часовую производительность которых вычисляют по формуле:

$$P_{чр} = \phi_{1р} k_p 60zn \frac{\pi \cdot D_p^2 \cdot h}{4 \cos a_1 \cdot \cos a_2}, \text{ пл.м}^3/\text{ч} \quad (3)$$

где ϕ_{ip} – коэффициент подачи, учитывающий перерывы в подаче бревен в патрон машины в зависимости от схемы древесного цеха и взаимосвязи с другим оборудованием цеха (окорочными барабанами и др.); $\phi_1=0,6-0,7$; k_p – число бревен, одновременно подаваемых в патрон рубительной машины; z – число ножей на диске; n – число оборотов диска, об/мин; D_p – диаметра бревна, подаваемого на рубку, м (расчетный); h – величина выпуска ножей, м; a_1, a_2 – углы наклона патрона в различных плоскостях (к горизонту и к оси вала диска).

В Швеции, Финляндии, США, Канаде, России и в других странах выпускают рубительные машины для рубки как коротких балансов, так и длинных, производительностью от 100 до 400 пл. м³/час.

Нарубленная щепа сортируется на плоских сортировках гирационного типа. Часовая производительность плоской сортировки $P_{ч.ср.}$ рассчитывается по формуле:

$$P_{ч.ср.} = k_c 0,4 F g a_1 a_2 \phi_{1ср}, \quad (4)$$

где F – площадь сита, м²; g – удельная производительность 1 м² сита м³/ч в зависимости от отверстий; $\phi_{1ср}$ – коэффициент использования рабочего времени сортировки; a_1 – коэффициент учитывающий процентное содержание в исходном материале частиц, размеры которых меньше проходного отверстия сита; a_2 – коэффициент, учитывающий процентное содержание в щепе частиц, величина которых меньше половины размера отверстия; k_c – коэффициент перевода щепы в плотную массу; $k_c = 0,36$.

Часовая производительность сортировки подсчитывается отдельно для сит с крупными и мелкими ячейками. Производительность сортировки принимается по меньшему из полученных значений. Производительность многогранных сортировок достигает 800 нас. м³/ч или 280 пл. м³/ч.

В последнее время систему сортирования щепы по длине вводят систему сортирования щепы и по толщине, что позволяет значительно повысить выход целлюлозы по варке за счет снижения непровара щепы.

Ниже приведены три варианта систем подготовки древесного сырья производства технологической щепы объемом 1 750 000 пл.м³ для выработки 350 000 тонн целлюлозы в год (1 000 тонн в сутки).

1 вариант (барабан для окорки 4×25 м)

По расчетам, поточная линия, включающая слешер, который распиливает бревна на отрезки 1,25 – 1,5 м, окорочный барабан, рубительную машину для рубки коротья и сортировку, может выработать щепу около 3 000 пл. м³ в

сутки. Так как нам потребуется около 5 000 пл. м³, следовательно надо установить две такие поточные линии, а режим их работы – 3 смены. Следует отметить, что выработанную щепу в основном подают в варочный цех через бункера [5] и только 10-15% подают в кучу щепы для создания запаса. На рис. 1 показана схема древесно-подготовительного цеха с двумя поточными линиями.

II вариант (барабан для окорки 5×30 м)

По этому варианту включен слешер, который распиливает бревна на отрезки 2-2,5 м., окорочный барабан, рубительную машину с наклонным патроном и многогранную сортировку щепы. Производительность линии 200 пл. м³/час. Одной линии не достаточно для выработки 5 000 пл. м³ щепы в сутки, поэтому следует предусмотреть установку двух поточных линий. Режим работы этих линий – 2 смены. Такой режим позволит больше щепы направить в кучу и улучшить стабильность подачи щепы на варку. На рис. 2 показана схема древесно-подготовительного цеха с двумя рассмотренными поточными линиями.

III вариант (с барабаном для окорки 6×35 м)

В этом варианте поточной линии предусмотрена окорка бревен длиной от 2 до 6 м в окорочном барабане диаметром 6 м и рубка таких бревен на щепу в рубительной машине с горизонтальным патроном. В линии не предусмотрен слешер. Для размораживания (коры) или ее увлажнения предусмотрена специальная камера. В камеру пачки бревен объемом около 10 пл. м³ проходят по наклонному многоценному транспортеру и попадают в барабан. По расчету длина камеры около 75 м, что позволяет за время подъема пачек разморозить слой коры на бревнах толщиной до 2 см. Одна линия производительностью 350 пл. м³/час вырабатывает требуемый объем щепы за 2 смены и подает почти 30% нарубленной, но не сортированной щепы в кучу. Сортирование щепы предлагается осуществлять непосредственно перед подачей ее на варку в специальном узле сортирования щепы. На рис. 3 показана схема древесно-подготовительного цеха с одной поточной линией производительностью 1,8 млн. пл. м³ в год.

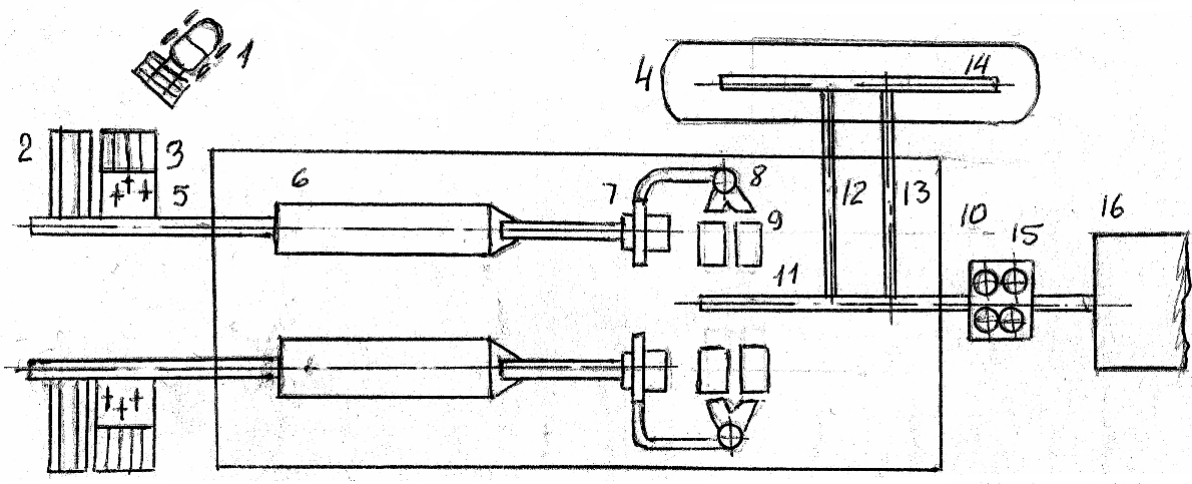


Рис. 1. Схема древесно-подготовительного цеха с двумя поточными линиями с барабанами 4×25

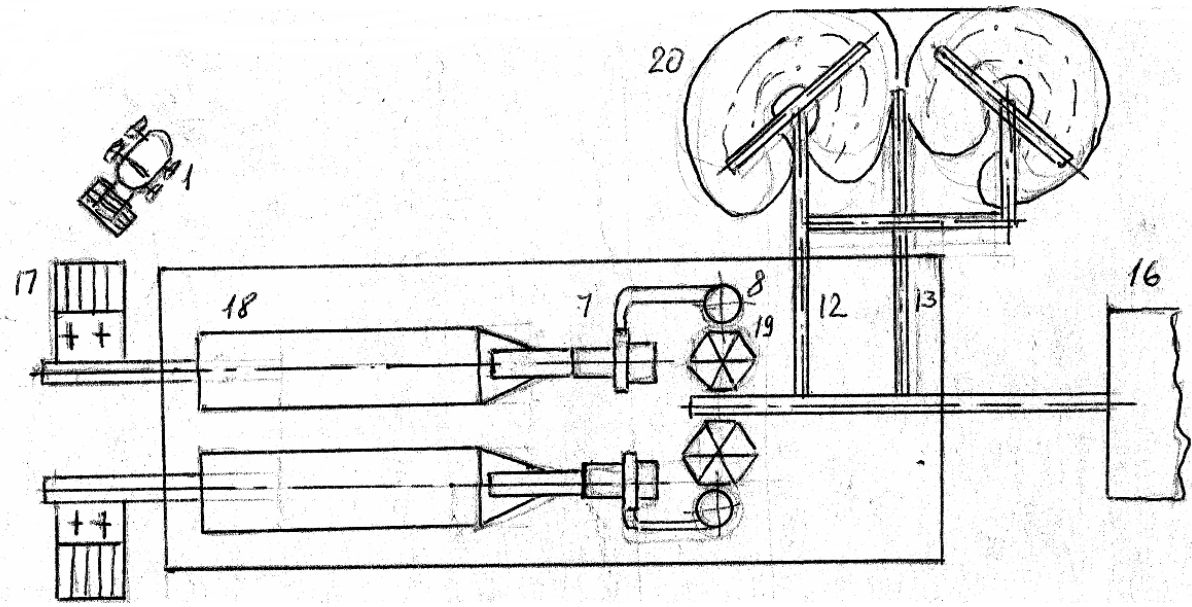


Рис. 2. Схема древесно-подготовительного цеха с двумя поточными линиями с барабанами 5×30

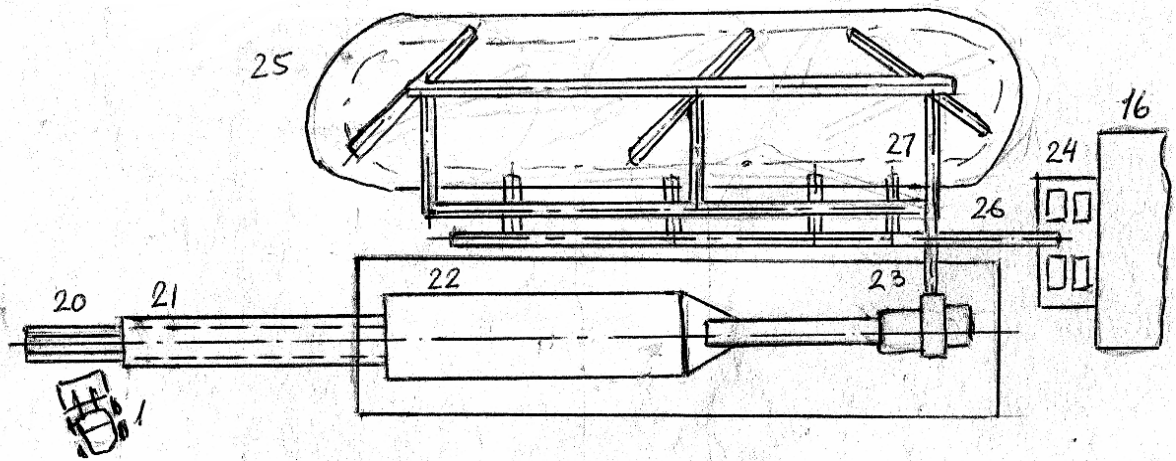


Рис. 3. Схема древесно-подготовительного цеха с одной поточной линией с барабаном 6×35 производительностью 1,8 млн. пл. м³ в год

Обозначения к рисункам:

1. Погрузчик для бревен; 2. Питатель для коротких бревен; 3. Многопильный стол-слешер; 4. Куча щепы; 5. Транспортёр подачи бревен в барабан; 6. Барабан 4×25; 7. Рубительная машина для рубки коротких бревен; 8. Циклон с распределителем щепы; 9. Плоские сортировки щепы; 10. Древесно-подготовительный цех; 11. Транспортёр подачи щепы в бункера; 12. Транспортёр подачи щепы в кучу; 13. Транспортёр подачи щепы из кучи в цех; 14. Транспортёр для формирования кучи щепы; 15. Бункера для щепы; 16. Варочный цех; 17. Двухпильный слешер с убирающимися пилами; 18. Барабан 5×30; 19. Многогранная сортировка щепы; 20. Многоцепной транспортёр подачи пачек бревен в барабан; 21. Камера для размораживания бревен; 22. Барабан 6×35; 23. Рубительная машина с горизонтальным патроном; 24. Узел сортирования щепы; 25. Большая куча щепы; 26. Транспортёр подачи щепы из кучи; 27. Транспортёр подачи щепы от рубительной машины к куче щепы.

Рассмотренные варианты поточных линий производства щепы из балансов и их компоновка в древесно-подготовительных цехах предприятий ЦБП, а также приведенные расчеты производительности отдельных узлов и линии в целом, позволяют сделать предложения по применению предлагаемых поточных линий для различных ЦБК.

Выводы.

Предлагаем первые два варианта использовать для реконструкции древесно-подготовительных цехов существующих предприятий с выработкой щепы до 1млн.пл.м³ в год с применением одного потока, но при работе в 2-е или 3 смены. Третий вариант можно использовать для проектируемых новых предприятий ЦБП или для реконструкции существующих крупных ЦБК.

Во всех вариантах линий предусмотрено кучевое хранение щепы [4]. Формирование куч производится ленточными транспортёрами, а их разгрузка шнеками или стокерами. Это позволяет предотвратить излишнее измельчение щепы.

Библиографический список

1. Проектирование лесозаготовительных производств: учебное пособие для бакалавров направления подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» / Б.М. Локштанов [и др.]: СПбГЛТУ, 2015. – 80 с.
2. Локштанов Б.М., Житков А.В., Трефилова Т.Ф. Производительность корообдирочных барабанов непрерывного действия.- Сборник трудов ВНИИБа, вып. 66. М., «Лесная промышленность», 1975, с.21-219

3. Локштанов Б.М., Житков А.В., Трефилова Т.Ф. Сухая окорка древесины в барабанах на предприятиях целлюлозно-бумажной промышленности (обзор). Сер. «Бумага и целлюлоза». М., ВНИПИЭИлеспром, 1976, 53-56с.
4. Локштанов Б.М., Тепноев А.В., Орлов В.В. Складирование и перемещение измельченных лесоматериалов на лесных складах. Технология и оборудование лесопромышленного комплекса. Сб. научных трудов под ред. В.И. Пятакин. Вып.1 СПб.: СПбГЛТА, 2008г. С.52-58
5. Бачериков И.В., Локштанов Б.М., Симоненков М.В. Хранение щепы на складах закрытого типа. Наука и инновации в технических университетах: материалы Седьмого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. – СПб.: Изд-во Политехнического университета 2013 г. С.7-9

Сведения об авторах

ФИО Ильюшенко Д.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail dilium@yandex.ru

ФИО Локштанов Б.М.
Организация Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего образования «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства обороны Российской Федерации
Адрес организации 194064, Тихорецкий пр., д. 3, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail blokshtanov@mail.ru

ФИО Машутин А.С.,
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail anatoli.mashutin@yandex.ru

ФИО Орлов В.В.
Организация Федеральное государственное казенное военное

образовательное учреждение высшего образования «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства обороны Российской Федерации

Адрес 194064, Тихорецкий пр., д. 3, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код –
e-mail artictvetal1987@gmail.com

Аннотация

В данной статье рассматривается три варианта систем подготовки древесного сырья производства технологической щепы объемом 1 750 000 пл.м³ для выработки 350 000 тонн целлюлозы в год.

Ключевые слова: щепы, целлюлозно-бумажное производство.

УДК 630*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.00

Применение метода экспертных оценок для повышения качества отделки древесины защитно-декоративными покрытиями

Соколова В.А., Иванов А.М., Алексеева Е.А.

Метод экспертных оценок применяется в случаях если есть процессы, о которых многое известно, есть специалисты, но прямые измерения сложны и невозможны, и эксперт в данном случае является измерителем с некоторыми погрешностями, а групповое мнение близко к истинному или малоизученные и мнение большинства может оказаться неверным. Для решения такого типа задач используют групповые мнения [2].

Рассмотрим применение метода экспертных оценок на примере отделки древесины полиэфирным лаком [1]. В качестве этапов экспертизы определим следующие:

1. Постановка задачи исследования.
2. Разработка или выбор метода получения экспертной информации. (Анкетирование).
3. Разработка или выбор методов обработки экспертной информации.
4. Формирование экспертной группы. (Специалисты, технологи, обслуживающий персонал, нормативы).
5. Сбор экспертной информации.
6. Обработка информации, ее анализ и ее интерпретация.

В таблицах 1 и 2 представлены опросные карты по параметрам вязкости и влажности отделки щитов на полиэфирном лаке УФ сушки.

Таблица 1 Вязкость рабочего раствора лака, с

Эксп.	32	33	34	35	36	37	38	39	Термин
I	1	0.7	0.3	0	0	0	0	0	Малая
II	1	0	0	0	0	0	0	0	
III	1	0.8	0.4	0	0	0	0	0	
I	0.6	0.9	1	1	1	1	0.4	0	Нормальная
II	0.5	1	1	1	1	1	0.5	0.1	
III	0.6	0.8	0.9	1	1	1	0.6	0	
I	0	0	0	0.1	0.4	0.8	1	1	Чрезмерная
II	0	0	0	0	0	0.1	1	1	
III	0	0	0	0.2	0.3	0.8	0.8	0.9	

“Малая”

I= {1, 0.204, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}

II= {1, 0.876, 0.663, 0.352, 0, 0, 0, 0, 0, 0}

III= {1, 0.693, 0.599, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}

“Обобщ. мнение” {0.592, 0.825, 0.923, 0.954, 0.993, 0.996, 1, 1, 0.725, 0.357, 0}

“Нормальная”

I= {0.5, 0.898, 1, 0.995, 0.998, 0.991, 1, 1, 0.727, 0.357, 0}

II= {0.6, 0.750, 0.845, 0.911, 0.988, 1, 1, 1, 0.804, 0.429, 0}

III= {0.62, 0.832, 0.956, 0.966, 0.973, 1, 1, 1, 0.796, 0.372, 0}

“Обобщ. мнение” {0.592, 0.825, 0.923, 0.954, 0.933, 0.966, 1, 0.999, 0.765, 0.393, 0}

“Чрезмерная”

I= {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.681, 1, 0.999}

II= {0, 0, 0, 0, 0, 0.058, 0.09, 0.159, 0.635, 1, 0.999}

III= {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.042, 0.345, 1, 0.969}

“Обобщ. мнение” {0, 0, 0, 0, 0, 0.033, 0.097, 0.127, 0.654, 1, 0.999}

Таблица 2. Влажность поверхности детали, %

Эксп.	2	4	6	8	10	12	14	16	Термин
I	1	0.8	0	0	0	0	0	0	Малая
II	1	1	0	0	0	0	0	0	
III	0.8	0.7	0.6	0	0	0	0	0	
I	0	0.3	1	1	1	1	0	0	Нормальная
II	0	0	1	1	1	1	0	0	
III	0	0.1	1	1	1	0.2	0	0	
I	0	0	0	0	0	0.3	0.6	1	Большая
II	0	0	0	0	0	0	1	1	
III	0	0	0	0	0.1	0.2	0.4	1	

“Малая”

I= {1, 1, 0.609, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}

II= {1, 0.891, 0.882, 0.690, 0.119, 0, 0, 0, 0, 0, 0}

III= {1, 0.968, 0.759, 0.463, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}

“Обобщ. мнение” {1, 0.942, 0.755, 0.369, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0}

“Нормальная”

I= {0, 0, 0.388, 1, 1, 0.947, 1, 1, 0.388, 0, 0}

II= {0, 0, 0.464, 1, 1, 1, 0.882, 0.271, 0, 0, 0}

III= {0, 0, 0, 0.599, 1, 1, 0.932, 0.384, 0.255, 0, 0}

“Обобщ. мнение” {0, 0, 0.424, 1, 0.999, 0.972, 0.945, 0.659, 0.210, 0, 0}

“Большая”

I= {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.609, 1, 0.999}

II= {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.121, 0.190, 0.281, 0.544, 1}

III= {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.101, 0.482, 0.638, 1, 0.978}

“Обобщ. мнение” {0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0.802, 1}

Эксперт предоставил для изучения систематизированные в таблицу сведения относительно дефектов полиэфирных покрытий. Сведения содержат перечень дефектов с указанием их возможных причин, а также методов устранения. Таблица была составлена исходя из накопленного предприятием опыта работы на полиэфирной линии УФ-сушки. В связи с этим накопленные сведения могут несколько отличаться от приведенной характеристики дефектов [3], ибо отражают специфику данного технологического процесса, данного оборудования и т. д.

Таким образом можно сделать вывод, что с помощью метода экспертных оценок можно сделать вывод о причинах возможного дефекта

Библиографический список

1. Справочник по защитно-декоративным покрытиям [Текст] / Я.В. Вайнер, М. А. Дасоян, А.Я. Дринберг [и др.]; Под ред. лауреата Сталинской премии д-ра техн. наук проф. Н.П. Федотьева. - Москва; Ленинград: Машгиз. [Ленингр. отд-ние], 1951. - 480 с., 2 л. черт.: ил.; 23 см.
2. Справочник мебельщика / Под редакцией члена-корреспондента РАЕН В.П. Бухтиярова; Всероссийский проектно-конструкторский и технологический институт мебели, Московский государственный университет леса. — 3-е издание, переработанное. — Москва: Издательство Московского государственного университета леса, 2005
3. Иванов А.М., Соколова В.А. К вопросу о качестве лакокрасочных покрытий. // Актуальные вопросы в лесном хозяйстве. Материалы IV международной научно-практической конференции молодых ученых. / 2020. С. 20-23.

Сведения об авторах

ФИО Соколова Виктория Александровна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5116-5102
e-mail sokolova_vika@inbox.ru

ФИО Алексеева Елена Аркадьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3535-5149
e-mail mmu@spbftu.ru

ФИО Иванов Андрей Михайлович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail andreyiv1997@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрен путь повышения качества отделки древесины лакокрасочными материалами. Предложен путь использования метода экспертных оценок. Для сбора данных применяются опросные карты. Исходя из анализа полученных данных был сделан вывод о возможности применения данного метода.

Ключевые слова: древесина, лакокрасочные покрытия, полиэфирный лак, метод экспертных оценок.

УДК 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.00

Анализ дефекта «пониженная адгезия лака к подложке» лакокрасочных покрытий

Соколова В.А., Иванов А.М.

Дефект «пониженная адгезия лака к подложке» проявляется в отслаивании пленки отвержденного лака от поверхности деталей. Проявляется при облагораживании покрытий, при сборке, транспортировке или в процессе эксплуатации. Часто понижение адгезии приводит к появлению белых пятен под лаковой пленкой, особенно при складировании и транспортировке деталей, и небрежном обращении с ними (удары). При полировании нередко случаи отслаивания лаковой пленки, особенно от синтетического шпона.

Причины данного дефекта заключаются в повышенной влажности поверхности деталей, загрязнении поверхности маслянистыми веществами, просачивании клея через облицовочный материал, высокой концентрации красителя, большом содержании смолы в синтетическом шпоне, введении в лак большого количества тиксотропирующих добавок, например, белой сажи [1].

Повышенная влажность деталей может быть обусловлена: высокой влажностью воздуха в сырую погоду; недосушиванием деталей после крашения; конденсацией водяных паров на деталях, завезенных в цех с улицы в зимнее время; недостаточной выдержкой деталей после облицовывания синтетическим шпоном в холодных прессах при использовании поливинилацетатной эмульсии. Как показывают опыты, наиболее опасна влажность древесины в пределах 12-16%.

Загрязнение поверхности деталей маслянистыми и другими веществами может быть от контакта с руками рабочего, в том числе при использовании биологических перчаток.

Высокая концентрация красителя чаще всего обусловлена неравномерным нанесением красящего раствора на детали.

Просачивание клея и большое содержание смолы в синтетическом шпоне препятствуют выделению лака в микропустоты подложки, что снижает адгезию лака. Введение белой сажи также снижает адгезию.

Исправление дефекта затруднительно. В случае появления мелких пятен из-за отслаивания лака эти места скалывают стамеской, заливают вручную лаком, и после отверждения шлифуют и полируют всю поверхность. При отслаивании на больших площадях покрытие разогревают утюгом и на полировальном станке, затем снимают шпателем и повторно лакируют. Адгезия вновь нанесенного слоя лака ниже, что объясняется заполнением пор древесины лаком при предыдущем лакировании.

При отделке поверхностей, облицованных синтетическим шпоном, удаление лакового покрытия иногда невозможно из-за расслаивания пленки с напечатанной текстурой древесины. В этом случае деталь бракуют [3].

Для предупреждения необходимо контролировать влажность поверхности щитов, соблюдать чистоту деталей, принимать меры по уменьшению просачивания клея, особенно в случае синтетического шпона, не применять концентрированные растворы красителей, контролировать количество смолы в синтетическом шпоне. При введении в лак белой сажи количество ее должно быть не выше 0,6 – 0,8%.

Пониженная адгезия второго слоя лака проявляется в местном или полном отслаивании второго слоя лака от первого и обнаруживается чаще всего при облагораживании покрытий, транспортировке и складировании деталей. Дефект часто приводит к окончательному браку. Причина заключается в нанесении второго слоя лака по отвержденному первому слою [2]. Дефект трудно исправить. Для его предупреждения необходимо точно соблюдать время желатинизации первого слоя лака. Если по какой-либо причине первый слой лака отвердился, перед нанесением второго слоя его необходимо шлифовать.

Таким образом, такой дефект, как «пониженная адгезия» оказывает сильное влияние на эксплуатационные характеристики лакокрасочных покрытий, очень важно предварительно устранять причины появления данного дефекта, иначе это приведет к браку продукции.

Библиографический список

1. Справочник мебельщика / Под редакцией члена-корреспондента РАЕН В. П. Бухтиярова; Всероссийский проектно-конструкторский и технологический институт мебели, Московский государственный университет леса. — 3-е издание, переработанное. — Москва: Издательство Московского государственного университета леса, 2005
2. Соколова В.А., Пивоварова А.А., Колесников Д.В., Косарев Ю.Э. Исследование процесса пленкообразования лакокрасочных материалов на подложках из древесины хвойных и лиственных пород. // Наука и инновации в технических университетах. Материалы Девятого Всероссийского форума студентов, аспирантов и молодых ученых. / Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. 2015. С. 113-115.
3. Справочник по защитно-декоративным покрытиям [Текст] / Я. В. Вайнер, М. А. Дасоян, А.Я. Дринберг [и др.]; Под ред. лауреата Сталинской премии д-ра техн. наук проф. Н.П. Федотьева. - Москва; Ленинград: Машгиз. [Ленингр. отд-ние], 1951. - 480 с., 2 л. черт.: ил.; 23 см.

Сведения об авторах

ФИО	Соколова Виктория Александровна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,

организации Россия
SPIN-код 5116-5102
e-mail sokolova_vika@inbox.ru

ФИО Иванов Андрей Михайлович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код –
e-mail andreyiv1997@mail.ru

Аннотация

В данной статье проведен анализ дефекта лакокрасочного покрытия древесины. Проанализирован такой дефект как – «пониженная адгезия лака к подложке». Проанализированы причины возникновения данного дефекта, а также приведены рекомендации по его недопущению.

Ключевые слова: древесина, дефект, лакокрасочное покрытие, пониженная адгезия.

УДК 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.00

К вопросу использования древесины осины

**Сергеевичев А.В., Михайлова А.Е.,
Сергеевичев В.В., Машутин А.С., Раупова Д.Э.**

Развитие всех отраслей народного хозяйства, использующих древесину, вызывают необходимость более рациональное её использование. Известно, что в наиболее освоенных лесах центрального района Европейской части России и на Урале имеются значительные запасы древесины мягких лиственных пород, которые используются недостаточно, хотя находятся вблизи основных районов потребления. Это в первую очередь относится к осине. Запасы мягколиственной древесины составляют более 50 % всей покрытой лесом площади, что создает хорошие предпосылки для использования этих пород.

Удельные характеристики древесины осины мало отличаются от аналогичных показателей древесины ели, сосны, березы. Однако промышленное её использование мало по сравнению с другими породами. Средние показатели основных физико-механических свойств древесины

мягколиственных пород РФ (числитель – при влажности 12%, знаменатель – при 30 % и более) приведены в табл. 1.

Таблица 1. Средние показатели основных физико-механических свойств мягколиственных пород

Порода	Плотность, кг/м ³		Ударная вязкость при изгибе кДж/м ²	Твердость, Н/мм ²			Модуль упругости при изгибе, ГПа
	при влажности 12%	базисная		торцовая	радиальная	тангенциальная	
Береза бородавчатая	640	520	$\frac{92,9}{78}$	$\frac{46,3}{27,5}$	$\frac{35,9}{21,5}$	$\frac{32,1}{19,2}$	$\frac{14,2}{10,8}$
Липа	495	400	$\frac{57,8}{49}$	$\frac{25,0}{15,0}$	$\frac{16,7}{10,0}$	$\frac{17,4}{10,4}$	$\frac{8,94}{5,60}$
Ольха	525	430	$\frac{51,6}{43}$	$\frac{39,2}{23,5}$	$\frac{26,5}{15,9}$	$\frac{28,2}{16,8}$	$\frac{9,33}{6,00}$
Осина	495	410	$\frac{84,6}{72}$	$\frac{25,8}{15,4}$	$\frac{18,7}{11,2}$	$\frac{19,6}{11,7}$	$\frac{11,2}{7,70}$
Тополь	455	375	$\frac{39,2}{33}$	$\frac{26,7}{15,4}$	$\frac{18,5}{11,1}$	—	$\frac{10,3}{6,90}$

Проблема использования древесины осины весьма актуальна. В перспективе эта задача приобретает ещё большее значение. Невостребованность осины деревообрабатывающей промышленностью сегодня приводит к снижению эффективности лесозаготовок, ухудшению качественных характеристик лесов, в конечном итоге приводит к ухудшению состояния среды. Площадь мягколиственных насаждений европейской части России по преобладающим породам распределяется следующим образом: березы – 69,9%; осины – 19,4%; липы – 4,3%; ольхи – 5,3%; прочие – 1,1%. Большая часть мягколиственных запасов приходится на насаждения с преобладанием березы (65 %) и осины (25 %). Спелые и приспевающие запасы мягколиственных насаждений составляют 50 % их общего наличия. Основные эксплуатационные запасы мягколиственных лесов сосредоточены в Северо-Западном, Уральском и Приволжском федеральных округах.

Для каждой породы древесины существует понятие «возраст технической спелости дерева», т.е. определенный для каждой породы возраст, при котором древесина обладает лучшими техническими свойствами. Возраст технической спелости для основных пород: береза – 40-60 лет; липа – 50-60 лет; осина – 40-50 лет; сосна и ель – 60-100 лет; бук – 80-150 лет; дуб – 150-250 лет [1]. Как

видно из этих данных, осина имеет наименьший возраст спелости, т.е. её запасы восполняются быстрее, чем запасы древесины других пород.

Мягколиственная древесина может заменить не только хвойную, но и твердолиственную. Большое количество высококачественной твердолиственной древесины используют на производство таких видов продукции, которую можно изготовить из менее ценной древесины березы и осины. Производство многих видов изделий, которые можно изготовить из березовой и осиновой древесины необходимо переместить в районы, где она не находит сбыта, а ценную твердолиственную древесину использовать только в том случае, когда применение ее необходимо и экономически оправдано.

Традиционное применение осиновой древесины: в сухих условиях она долго сохраняет свои качества, благодаря которым она имеет разнообразное применение. Это лучшее сырье для производства спичек, фанеры, производства целлюлозы, искусственного шелка [2]. Идет на клепку для бочек под рыбу и другие продукты, на кровельный гонт, лопаты, дуги, дешевую мебель, разные столярные и точеные изделия. Из кубометра осины можно сделать 22 тысячи коробок спичек.

Историческое применение включает в себя: изготовление стропил и балок, щепы на крышу; производство посуды для солений и маринадов; применение в качестве внутренней обшивки бани; выработка угля; срубы колодцев; для резьбы по дереву (декоративные элементы, игрушки и др.); изготовление корыт, кадушек.

Современное применение за рубежом включает в себя следующие направления: в творческих целях для изготовления ламп и ваз (декоративно окрашенная древесина); широкое применение для производства спортивного инвентаря, в частности для изготовления различных видов досок (сноуборд) и клюшек (хоккей); домостроение – в качестве перекрытий; производство мебели – ящики; высококачественный, в том числе и элитный, упаковочный материал; футляры для музыкальных инструментов; мебель из массивной осиновой древесины; производство различного вида плитных материалов для строительства, шпона; целлюлозно-бумажное производство.

В Российской Федерации применение осины на сегодняшний день ограничивается: производством фанеры; производством погонажных изделий, используемых при строительстве бань и саун (вагонка) [3]; сырьем для целлюлозного и спичечного производства; производством бочек; для мебельных заготовок.

В соответствии с действующим ГОСТ 8242-88 осина может использоваться в производстве: досок для покрытия полов; в строительстве

жилых зданий - брусков для покрытия полов; плинтусов, наличников, поручней, подоконных досок;

Указанные виды продукции должны удовлетворять требованиям ГОСТ на эти товары, изготавливаемые из других пород древесины. Качественные характеристики необходимо достигать за счет изменений технологии и режимов обработки.

Библиографический список

1. Леонтьев Л.Л. Древесиноведение и лесное товароведение. СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 416 с.
2. Сергеевичев В.В., Михайлова А.Е. Анализ деформации валков и древесины в прессах непрерывного действия. [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 213, 2015. – С. 224-231.
3. Сергеевичев А.В., Артеменков А.М. Аналитическое обоснование износостойкости шлифовальных лент с целью повышения их работоспособности. [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 214, 2016. – С. 190-203.

Сведения об авторах

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Михайлова Анна Евгеньевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail mikhailovaae@ya.ru

ФИО Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Машутин Анатолий Сергеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail anatoli.mashutin@yandex.ru

ФИО Раупова Диана Эдуардовна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail diana.raupova@bk.ru

Аннотация

Указанные виды продукции должны удовлетворять требованиям ГОСТ на эти товары, изготавливаемые из других пород древесины. Качественные характеристики необходимо достигать за счет изменений технологии и режимов обработки.

Ключевые слова: древесина, осина, качественные характеристики осины.
УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Перспективы развития деревянного домостроения

**Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О.,
Машутин А.С., Сергеевичев В.В., Раупова Д.Э.**

В настоящее время, в отечественном и зарубежном деревообрабатывающем производстве быстрыми темпами развивается домостроение с использованием различных материалов, включая древесину. В основном это коттеджи, одноэтажные жилые дома, фермерские постройки, дачи, садовые домики и др. Для их изготовления используются: панели на основе портландцемента, песка и отходов деревообработки; кирпичи; цементно-волокнистые плиты; древесностружечные плиты; теплоизоляционные материалы и антипирены. Применение в деревянном домостроении большого набора плитных материалов требует решения ряда экологических вопросов,

связанных с безопасностью для жизни и здоровья человека. Кроме того, изготовление и сборка таких построек – дорогостоящие и трудоемкие процессы, которые трудно поддаются механизации и автоматизации.

Бревна – это традиционный строительный материал для изготовления жилых домов и других сооружений. Особенно эффективно используются бревна, как экологически чистый материал, в странах богатых лесами (Канаде, России Финляндии, Швеции, и др.). Население же многих регионов, особенно северных, желает жить в бревенчатых домах, удобных, теплых и экологически чистых, несмотря на их более высокую стоимость (5-20%). Бревна, особенно хвойных пород, традиционный природный строительный материал, который благодаря своим форме и физико-механическим свойствам позволяет автоматизировать процессы изготовления и сборки деревянных изделий в домостроении.

В ведущих, в данной области, странах (Финляндия, Швеция, Канада, Германия, США, Россия) с целью механизации и автоматизации изготовления бревенчатых домов разработано и применяется различного рода оборудование для оцилиндровки бревен, фрезерования продольного желоба, получения поперечных чаш, сверления отверстий под шконты, выпиливания компенсационных прорезей и пазов и выполнения других необходимых технологических операций для получения требуемых, формы и профиля детали. При сборке дома или другого изделия из оцилиндрованных бревен не требуются операции пригонки и доводки, что значительно снижает трудоемкость и себестоимость готового изделия, при этом существенно повышается производительность процесса. Это обуславливается использованием принципов унификации и стандартизации строительных заготовок из древесины [3].

В сравнении с другими технологическими операциями оцилиндровка бревен самая ответственная, трудоемкая и энергоемкая технологическая операция, определяющая внешний вид готового изделия и его качество. Поэтому в настоящее время в ведущих в этой области домостроения странах постоянно совершенствуются процессы оцилиндровки бревен, режимы обработки и режущие инструменты. Свидетельством этого является появление на рынке нового, более совершенного оборудования и режущего инструмента для оцилиндровки бревен, а также наличие большого количества патентов на устройство оцилиндровочных станков, их механизмов и агрегатов, а также способов оцилиндровки [2].

Все оцилиндровочные станки имеют различные конструкции, принцип обработки, режущий инструмент, технологические возможности. Вместе с тем в каждом из них наиболее слабым звеном является процесс оцилиндровки

бревен из-за анизотропности древесины, разброса ее физико-механических свойств и других показателей. Поэтому дальнейшее совершенствование конструкции оцилиндровочных станков, узлов резания, режимов обработки и режущего инструмента является актуальным перспективным направлением в научных исследованиях. Это обуславливается все возрастающим спросом на изделия бревенчатого домостроения [1].

Целью работы являлось выявление перспектив развития бревенчатого домостроения из оцилиндрованных бревен; варианты использования оцилиндрованных бревен в домостроении; недостатки существующего оборудования.

В результате проведенных нами патентно-информационных исследований были установлены основные конструктивные варианты использования оцилиндрованных бревен в домостроении. Характерными из них являются:

1. Оцилиндрованные бревна круглого сечения с конструктивными и технологическими элементами сборки: желоба, поперечные чаши, отверстия под шконты, компенсационные прорези и пазы;
2. Оцилиндрованные бревна круглого сечения с наличием декоративных конструктивных и технологических элементов;
3. Части оцилиндрованных бревен, полученные путем продольной распиловки, включающие технологические и декоративные элементы.

Варианты 1 и 2 обычно используются в строительстве коттеджей, жилых домов, фермерских построек. Вариант 3 применяется при производстве легких дешевых построек (садовые домики, ангары, гаражи, складские помещения) [3].

Поэтому исследование процесса оцилиндровки бревен, оптимизация его технологических параметров, обоснования рациональной геометрии режущего инструмента, надежного способа базирования при обработке бревен является актуальной научно-технической задачей для отрасли. Несмотря на большую гамму используемого оборудования, технологические операции оцилиндровки бревен несовершенны. При оцилиндровке бревен имеет место нестабильное качество обработки, т.е. шероховатость обработанной поверхности. На наружной поверхности оцилиндрованных бревен обнаруживается наличие прижегов, ворсистости, вырывов, сколов и других дефектов. Обоснование эффективного способа оцилиндровки бревен, оптимизация технологических параметров процесса оцилиндровки бревен, создание на ее основе совершенного оборудования и режущего инструмента является актуальной современной научно-технической задачей в домостроении из бревен.

Библиографический список

1. Каменев Б.Б., Кушнерев В.О. Повышение стойкости инструмента роторных оцилиндровочных станков на основании анализа погрешностей обработки бревен // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, вып. №214. СПб.: СПбГЛТУ, 2016. С.178-189.
2. Сергеевичев А.В. Сравнительная оценка оцилиндровочных станков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, вып. №175. СПб.: СПбГЛТА, 2006 С.88-94.
3. Чубинский А.Н., Федяев А.А. Основы архитектуры и строительных конструкций деревянного домостроения: методические указания по самостоятельному изучению дисциплины для студентов, обучающихся по направлению 08.03.01 «Строительство». СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 20 с.

Сведения об авторах

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Кушнерев Виктор Олегович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail maisan2007@inbox.ru

ФИО Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Машутин Анатолий Сергеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код	–
e-mail	anatoli.mashutin@yandex.ru
ФИО	Раупова Диана Эдуардовна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	diana.raupova@bk.ru

Аннотация

В статье выявлены перспективы развития бревенчатого домостроения из оцилиндрованных бревен; варианты использования оцилиндрованных бревен в домостроении; недостатки существующего оборудования.

Ключевые слова: деревянное домостроение, обработка древесины.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Динамические усилия механизма резания роторного оцилиндровочного станка

Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Кушнерев В.О., Машутин А.С.

Механизм резания позиционного роторного станка для оцилиндровки брёвен состоит из двигателя, ременной передачи и ротора с набором режущих инструментов. В механизме резания, при обработке брёвен, кроме статических, возникают динамические усилия. Эти усилия могут быть трёх видов:

1. усилия, возникающие в элементах механизма, в результате неравномерности рабочей нагрузки (усилий резания);
2. усилия, возникающие в элементах механизма, в результате неравномерного движения его деталей (ошибки исполнения деталей, неуравновешенность деталей, неравномерный износ подшипников);
3. усилия, возникающие в элементах механизма, при пуске и торможении.

Динамические усилия в механизме резания станка могут одновременно содержать две составляющие: вызванную внешним динамическим усилием и возникающую вследствие внутренних причин [1, 3, 4]. В современных исследованиях динамики машин и механизмов, последние рассматриваются как многомассовые упругие системы. При определении пусковых нагрузок обычно задаются законом изменения скорости или избыточного момента двигателя при

его разгоне. Однако такой приём влечет за собой некоторую неточность результатов из-за того, что при разгоне двигателя возникает обратная связь: действия двигателя на систему привода механизма и, наоборот, действие приводной системы на двигатель. В связи с этим выбранный заранее закон изменения скорости или момента двигателя не будет отражать действительного характера изменения отмеченных величин. При рассмотрении динамических явлений в механизме резания (в приводе) оцилиндровочного станка целесообразно учитывать действительные пусковые характеристики двигателя в системе привода [2, 6].

На рис. 1 показана механическая характеристика короткозамкнутого асинхронного электродвигателя переменного тока при обычном исполнении ротора.

Она отличается существенной нелинейностью и рассчитана на машины, запускаемые вхолостую, так как пусковой момент ($M_{п}$) у них зачастую оказывается меньше момента сопротивления ($M_{о}$). Для запуска под нагрузкой используют асинхронные двигатели со специальным исполнением ротора, обеспечивающим значительные пусковые моменты ($M_{п} > M_{о}$). Для короткозамкнутых асинхронных двигателей момент в период разгона можно считать примерно равным средней величине между пусковым и максимальным его значениями (рис. 1).

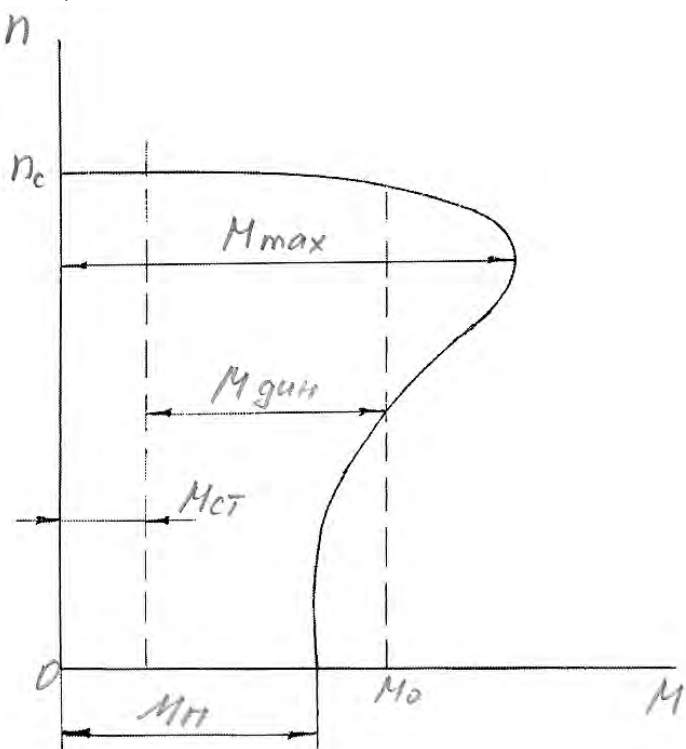


Рис. 1 Механическая характеристика короткозамкнутого асинхронного двигателя

$$M_p = M_{cp} = \frac{M_{II} + M_{max}}{2} \quad (1)$$

Во время пускового процесса и торможения механизма резания, а так же при всяком изменении скорости вращения ротора (при изменении сил резания в условиях переменной глубины резания) совершается работа сил инерции частей, движущихся с ускорением или замедлением. Работа сил инерции вращающихся частей при изменении скорости равна разности кинетических энергий, а именно, $H \cdot M$:

$$A_g = I \frac{\omega_2^2 - \omega_1^2}{2}, \quad (2)$$

где I – момент инерции вращающегося ротора, $H \cdot M \cdot c^2$; $\omega_1; \omega_2$ – угловые скорости в начале и конце процесса изменения скорости, $1/c$.

Если моменты инерции всех вращающихся частей привода заменить эквивалентным моментом инерции (I_{np}), то работу сил инерции можно представить в виде, $H \cdot M$:

$$A_g = \frac{I_{np} \omega^2}{2}, \quad (3)$$

где I_{np} – приведенный момент инерции к валу двигателя, $H \cdot M \cdot c^2$; ω – угловая скорость вращения вала двигателя, $1/c$.

Применяя эквивалентный момент (I_{np}) можно определить динамическую мощность в виде, $H \cdot M/c$:

$$N_g = I_{np} \omega \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (4)$$

При пуске механизма резания расходуется мощность N_{II} , равная сумме динамической (N_g) и статической (N_c) мощностей:

$$N_{II} = N_g + N_c \quad (5)$$

При торможении, когда скорость ротора изменяется от номинальной до нуля, расходуемая мощность равна разности этих мощностей:

$$N_{II} = N_g - N_c \quad (6)$$

Динамический момент (рис. 1) можно определить из отношения в виде:

$$M_{дин} = \frac{N_g}{\omega} = \frac{J_{np} \omega}{\omega} \cdot \frac{d\omega}{dt} = J_{np} \cdot \frac{d\omega}{dt} \quad (7)$$

Момент, развиваемый двигателем при пуске равен сумме динамического и статического моментов:

$$M_{\Pi} = M_{\text{дин}} + M_{\text{ст}} = I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega}{dt} + M_{\text{ст}}, \quad (8)$$

а при торможении он равен разности моментов:

$$M_{\text{T}} = M_{\text{дин}} - M_{\text{ст}} = I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega}{dt} - M_{\text{ст}}, \quad (9)$$

Здесь $M_{\text{T}} = M_{\text{дин}} - M_{\text{ст}} = I_{\text{пр}} \cdot \frac{d\omega}{dt} - M_{\text{ст}}$, – статический момент

двигателя соответствующий статической мощности потребляемой двигателем при неизменной скорости рабочего процесса резания. Одна часть статической мощности расходуется на обработку бревна резанием, а другая на преодоление сил трения (в опорах валов, трения о воздух элементов ротора и передачи). Энергия, расходуемая на преодоление сил трения, преобразуется в тепло [5, 7].

Статический момент, развиваемый двигателем, может быть определён по формуле, $\text{н} \cdot \text{м}$:

$$M_{\text{ст}} = 9750 \cdot \frac{N_c}{n}, \quad (10)$$

где N_c – статическая мощность двигателя, кВт; n – частота вращения вала двигателя, мин^{-1} .

Выводы

В механизме резания оцилиндровочного позиционного роторного станка при обработке брёвен кроме статических, возникают динамические усилия. Эти усилия могут быть трёх видов: возникающие в результатах неравномерности усилия резания (рабочей нагрузки); возникающие в результате неравномерного движения деталей; возникающие при пуске и торможении двигателя привода.

При оценке динамических явлений в механизме резания (в приводе) оцилиндровочных станков следует учитывать действительные характеристики двигателя. Наличие сравнительно небольших масс в роторной группе оцилиндровочных позиционных станков позволяет в приводе широко использовать асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

Запуск и торможение асинхронного двигателя в механизме резания оцилиндровочного позиционного роторного станка следует производить без рабочей нагрузки, т.е. при отсутствии процесса резания. Это связано с тем, что при обычном исполнении характеристика короткозамкнутого асинхронного электродвигателя переменного тока отличается существенной нелинейностью и пусковой момент (M_{Π}) у них зачастую меньше момента сопротивления (M_0).

Библиографический список

1. Ивановский Е.Г. Резание древесины. М.: Лесн. пром., 1975. 200 с.
2. Кудинов В.А. Динамика станков. М.: Машиностроение, 1967. 359 с.
3. Орликов М.А. Динамика станков. Киев: Высшая школа, 1980. 256 с.
4. Грубе А.Э. Дереворежущие инструменты. М.: Лесн. пром., 1971. 343 с.
5. Михайлов О.П. Динамика электромеханического привода металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1990. 304 с.
6. Ривин Е.И. Динамика привода станков. М.: Машиностроение, 1977. 204 с.
7. Грановский Г.И. Кинематика резания. М.: Машгиз, 1948. 204 с.

Сведения об авторах

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Кушнерев Виктор Олегович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail maisan2007@inbox.ru

ФИО Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Машутин Анатолий Сергеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail anatoli.mashutin@yandex.ru

Аннотация

При оценке динамических явлений в механизме резания (в приводе) оцилиндровочных станков следует учитывать действительные характеристики двигателя. Наличие сравнительно небольших масс в роторной группе оцилиндровочных позиционных станков позволяет в приводе широко использовать асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.

Ключевые слова: оцилиндровочные станки, обработка древесины.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Анализ износа шлифовального инструмента при обработке древесины

Сергеевичев А.В. Сергеевичев В.В., Машутин А.С., Михайлова А.Е.

Назначение процесса шлифования подразумевает под собой подготовку обработанной ранее другим видом механической обработки поверхности к отделке, путем уменьшения или удаления неровностей и дефектов обработки. Эффективность процесса шлифования, прежде всего, зависит от назначенных режимов обработки, характеристик и свойств режущего инструмента.

Шлифование – это заключительный процесс обработки заготовок из древесины или древесных материалов резанием, с помощью режущего инструмента (шлифовальной шкурки), состоящего из большого количества абразивных зерен, перемещаемых с большими скоростями, при этом находящимися под действием нормальных и касательных сил [3].

При шлифовании материал удаляется с обрабатываемой поверхности в зоне контакта заготовки с инструментом, которая представляет собой область взаимного проникновения абразивных зерен инструмента в материал заготовки и гребешков материала в промежутки между вершинами абразивных зерен.

Для выражения основных зависимостей динамической модели через технологические факторы в параметрическом виде необходимо более детальное исследование взаимодействия инструмента и заготовки.

Основными источниками шероховатости при шлифовании являются: следы режущих кромок в обрабатываемом материале; пластические, упругие температурные деформации, хрупкое разрушение материала поверхностного слоя; перенос на обрабатываемую поверхность частичек материала, оставшихся на режущих кромках инструмента.

При шлифовании фактор геометрического копирования часто является преобладающим. Шероховатость образуется при отображении поверхностей резания в материале заготовки, при воздействии только геометрического фактора, она может быть представлена как совокупность следов единичных

абразивных зерен, которые проходят через рассматриваемое сечение. Каждая единичная риска в этом случае будет копировать форму вершины единичного зерна в сечении поверхности резания плоскостью, перпендикулярной траектории движения. В связи с тем, что абразивные зерна имеют разнообразную форму, микрорельеф шлифованной поверхности, обусловленный геометрическим фактором, является нерегулярным.

Закономерности износа абразивного инструмента непосредственно связаны с работой единичных абразивных зерен. В основе механизма износа лежат явления адгезии, диффузии, абразивного разрушения, пластического течения тончайших поверхностных слоев, размягченных под действием высоких контактных температур и давлений, химического воздействия на абразив окружающей среды и обрабатываемого материала. Под действием механических и температурных напряжений происходит растрескивание, скалывание режущих кромок, выкрашивание из связки отдельных абразивных зерен и целых комплексов.

Механизм износа единичных абразивных зерен и явления, возникающее при контакте зерна с материалом, рассматривается в работах Т.Н. Лоладзе, Е.Н. Маслова и других исследователей. Механизм износа абразивного инструмента в целом до настоящего времени не имеет столь четкого логического представления. Для его описания весьма перспективным является использование динамических теоретико-вероятностных моделей процесса шлифования.

При работе инструмента не все зерна изнашиваются одинаково, что связано с изотропностью их физических свойств и различием в величине относительного износа. Износ абразивных зерен непрерывно увеличивается, затупившиеся вершины перестают резать, что приводит к снижению объема снимаемого материала и производительности процесса. Интенсификация режима с целью сохранения производительности вызывает резкое ухудшение качества обработанных поверхностей.

При прохождении абразивным зерном зоны контакта заготовки с инструментом, силы резания изменяются синхронно с изменением глубины микрорезания. Они увеличиваются при движении абразивного зерна от точки его входа в зону контакта к основной плоскости, достигают максимума в области отрицательных значений и затем уменьшаются. С увеличением числа контактов зерна с материалом, силы резания увеличиваются за счет увеличения глубины микрорезания и площадок износа.

Глубина микрорезания единичным зерном, входящая в уравнение сил резания, отличается от геометрической величины, которая является случайной, так как абразивное зерно взаимодействует со случайным профилем

микронеровностей. Задача по определению всех возможных вариантов нагружения абразивного зерна сводится к определению статических характеристик при условии, что его вершина попала на один из выступов шероховатости поверхности. Наибольший интерес при анализе процесса разрушения абразивного зерна представляют наиболее неблагоприятные условия его нагружения, когда оно попадает на один из выступов шероховатости поверхности. При расчете вероятности выпадения и разрушения абразивного зерна, необходимо исходить из условия его нагружения силой, по величине близкой или равной максимально возможной. До разрушения абразивное зерно может проходить зону контакта от 800 до 3 500 раз, и встреча зерна с одной из наибольших величин микропрофиля достаточно вероятна [2].

Вероятность вырывания абразивного зерна в инструменте и его разрушения с увеличением глубины резания значительно возрастает. В этом случае, почти все абразивные зерна достигают максимальной глубины резания. На вершинах абразивных зерен появляются значительные площадки износа.

Физические основы разрушения абразивного зерна при шлифовании рассмотрены и изучены во многих работах [1, 4, 5]. Рассмотрены вопросы распространения упругих волн, выполнен анализ величины напряжений, возникающих в зерне и мостиках связки. Показано, что абразивное зерно работает в условиях высоких циклических нагрузок. Поверхностные слои зерна нагреваются в зоне контакта и охлаждаются при выходе из нее, появляются значительные термические напряжения. Все это приводит к снижению прочности зерна и прочности закрепления в инструменте.

На основании проведенного анализа можно установить взаимосвязь износа абразивного инструмента с износом и закономерностями работы единичных абразивных зерен, что является неотъемлемой частью возможности совершенствования конструкций инструмента.

Библиографический список

1. Братан С.М. Идентификация параметров съема при комбинированном шлифовании // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. Мат-лы междунар. сборника научн. трудов. Донецк: ДонГТУ, 2000. С.24-32.
2. Новоселов Ю. К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. Севастополь: СевНТУ, 2012. 304с.
3. Сергеевичев А.В. Основные характеристики процесса шлифования древесины и древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 206. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С.124-138.
4. Сергеевичев А.В., Артеменков А.М. Аналитическое обоснование износостойкости шлифовальных лент с целью повышения их работоспособности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. № 214. СПб.: СПбГЛТУ, 2016, С.190-203.
5. Рыбин Б. М., Санаев В. Г., Кириллов Д. В. К вопросу выбора параметров шероховатости для оценки неровностей древесины // Лестной вестник. М.: МГУЛ, 2014. №4. С.131-137.

Сведения об авторах

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Михайлова Анна Евгеньевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail mikhailovaae@ya.ru

ФИО Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Машутин Анатолий Сергеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail anatoli.mashutin@yandex.ru

Аннотация

На основании проведенного анализа можно установить взаимосвязь износа абразивного инструмента с износом и закономерностями работы единичных абразивных зерен, что является неотъемлемой частью возможности совершенствования конструкций инструмента.

Ключевые слова: износ, абразив, шлифовальный инструмент, шлифование, обработка древесины.

Исследование воднодисперсионных лакокрасочных материалов для прозрачной отделки древесины

Сергеевичев А.В. Сергеевичев В.В., Машутин А.С.

Появление новых лакокрасочных материалов тесно связано с проблемой охраны окружающей среды. Решению этой проблемы способствует введение в традиционные материалы новых растворителей, не загрязняющих окружающую среду, или создание новых экологически безопасных лакокрасочных материалов.

Особенно перспективны в этом отношении воднодисперсионные лакокрасочные составы, порошковые и пленочные материалы [1].

В лаборатории защитно-декоративных покрытий древесины СПбГЛТУ проводятся исследования по разработке экологически безопасных лакокрасочных материалов для отделки мебели, обладающих повышенными физико-механическими и эксплуатационными характеристиками.

Методом коллоидно-химической модификации были разработаны грунтовочные и защитные воднодисперсионные составы на основе акрилового латекса БМК-5. Благодаря совокупности ценных свойств (стойкость к действию влаги, озона, солнечного света, химическая инертность эластичность лаковых пленок и стойкость к истиранию, атмосферному воздуху, свету, химическим реагентам (особенно бензину); высокую адгезию к металлу (в том числе к цветным металлам и оцинковке), стеклу, фарфору, дереву, бетону и другим поверхностям этот латекс может быть использован в качестве пленкообразователя в различных лакокрасочных составах, которые могут найти широкое применение в различных отраслях производства, в том числе и для отделки различных изделий из древесины.

Как показали исследования физико-химических свойств разработанных составов, введение в композицию поверхностно-активных веществ (ПАВ) улучшает ее смачивающую способность. Краевой угол смачивания уменьшается с $63,5^\circ$ до 53° при введении АГМ-9 в грунтовочный состав и с $64,6^\circ$ до $49,5^\circ$ при добавлении того же ПАВ в защитную композицию.

Формирование высококачественного защитно-декоративного покрытия зависит, как известно, не только от смачивающей способности и растекаемости лакокрасочного материала, но также и от его поверхностного натяжения [2]. Эта энергетическая характеристика влияет на величину адгезии лакокрасочного покрытия к подложке.

Для определения работы адгезии были использованы тестовые жидкости, грунтовочные и защитные составы [3]. Результаты исследований представлены в табл. 1.

Таблица 1. Энергетические характеристики тестовых жидкостей

Вид подложки	Соотношение этиленгликоль-глицерин	Косинус краевого угла	Критическое поверхностное натяжение, мДж/м ² , σ_k	Работа адгезии, мДж/м ² , w_a
Шпон красного дерева	100:0	0,928	42,5	94,0
	80:20	0,849		
	40:60	0,664		
	0:100	0,439		
Шпон красного дерева, обработанного грунтовочным составом без ПАВ	100:0	0,860	37,2	119,0
	80:20	0,800		
	40:60	0,742		
	0:100	0,621		
Шпон красного дерева, обработанного грунтовочным составом, содержащим ПАВ	100:0	0,814	27,1	128,2
	80:20	0,709		
	40:60	0,698		
	0:100	0,612		

Как показывает анализ результатов экспериментов, введение в лакокрасочную композицию поверхностно-активного вещества (АГМ-9) повышает работу адгезии (с 94 мДж/м² до 128,2 мДж/м²). Испытания физико-механических и эксплуатационных свойств покрытий, на основе разработанных воднодисперсионных составов показали, что они не уступают по своим характеристикам лучшим отечественным и зарубежным аналогам (табл. 2).

Таблица 2. Физико-механические и эксплуатационные свойства лака

№ п/п	Наименование показателя	Значение
1	Массовая доля нелетучих веществ, %, не менее	45
2	Условная вязкость по ВЗ-246, с, при 20°C	25-35
3	Жизнеспособность лака при 20±2°C, ч, не менее	24
4	Время высыхания до ст. 3 при 20°C, ч, не более	1
5	Твердость пленки по прибору М-3, усл.ед., не менее	0,3-0,4
6	Блеск покрытия по прибору ФР-2,%	40-50
7	Теплостойкость покрытия, °С	60-80

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В., Соколова В.А., Кушнерев В.О. Формирование поверхности твердых тел: граничная область материал-среда. [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 208, 2014. – С. 138-152.
2. Онегин В.И., Барташевич А.А. Физические основы блеска лакированной древесины. [Текст] // Труды БГТУ №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. № 2 (184), 2016. – С. 225-228.

3. Онегин В.И. Свойства древесины, учитываемые при формировании защитно-декоративных покрытий древесины и древесных материалов. // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. Т. 6. № 6 (348), 2015. – С. 116-127.

Сведения об авторах

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Машутин Анатолий Сергеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail anatoli.mashutin@yandex.ru

Аннотация

В статье проведены испытания физико-механических и эксплуатационных свойств покрытий, на основе разработанных воднодисперсионных составов. Испытания показали, что они не уступают по своим характеристикам лучшим отечественным и зарубежным аналогам.

Ключевые слова: физико-механические свойства покрытий, эксплуатационные свойства покрытий, воднодисперсионные составы.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Анализ кинетики смачивания при формировании лакокрасочных покрытий методом налива

Сергеевичев А.В. Онегин В.И., Машутин А.С.

Формирование жидкого адгезированного слоя на поверхности древесины методом налива происходит при встрече свободнопадающей плоской струи лакокрасочного материала сдвигающейся подложкой, рис.1.

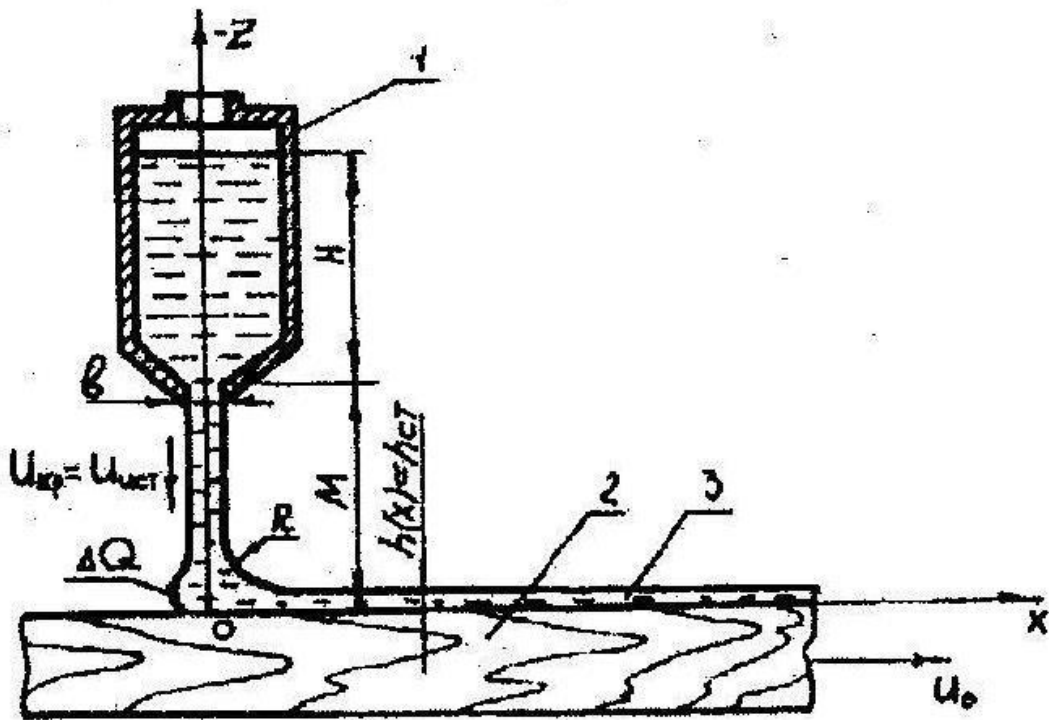


Рис.1. Схема формирования покрытия при наливании: 1 – сливное устройство; 2 – подложка; 3 – покрытие; $h_{ст}$ – толщина стабилизированной пленки; b – ширина сливного устройства; H – напор лакокрасочного материала в сливной головке; u_0 – скорость движения подложки; ΔQ – краевой угол смачивания.

При этом необходимым условием образования адгезионного контакта поверхности твердого тела с жидкостью является смачивание ею поверхности деталей в процессе нанесения [5]. Процесс смачивания во времени характеризуется скоростью растекания (скоростью образования новой границы раздела твердое тело – жидкость) и величиной динамического краевого угла натекания [11].

На неподвижной подложке скорость смачивания поверхности определяется движущей силой растекания, возникающей вследствие уменьшения свободной поверхностной энергии системы [1, 2]. Основное отличие смачивания движущейся подложки заключается в том, что в этом случае время растекания лимитируется скоростью движения детали [9, 12]. Следовательно, если учесть, что вектор скорости растекания жидкости и вектор

скорости движения подложки направлены в разные стороны, то произойдет увеличение скорости образования новой границы раздела твердое тело – жидкость на величину численно равную скорости движения детали. Смачивающая же способность жидкости при этом остается без изменений, что приводит к уменьшению площади смоченной поверхности вследствие уменьшения времени растекания жидкости по отделяемой поверхности. Это повлечет за собой увеличение динамического краевого угла натекания, который при равенстве скоростей растекания в кинетическом режиме смачивания и движения подложки будет стремиться к 180°. С точки зрения термодинамики смачивания твердой поверхности жидкостью это означает отсутствие адгезионного контакта.

Учитывая, что в качестве подложки используется древесина, имеющая поверхность с развитым микрорельефом [10], можно предположить, что при скорости движения детали 1-2 м/с в приповерхностных слоях будут развиваться аэродинамические силы. Это приведет к тому, что слои воздуха за счет силы аэродинамического трения [3] будут перемещаться в направлении движения подложки. Величина этой силы [6, 7] пропорциональна скорости движения подложки в размерах макронеровностей ее поверхности.

В результате движения воздушного потока увеличивается кинетическое сопротивление растеканию, а при краевом динамическом угле натекания, близком к 180°, воздух начинает подсасываться под формируемый жидкий слой. В результате лакокрасочный материал будет контактировать не с поверхностью древесины, а с воздушным слоем. Поскольку поверхностное натяжение воздуха мало по сравнению с поверхностным натяжением жидкого лака, то система лак – воздух становится термодинамически неустойчивой. Стремление ее к равновесию за счет уменьшения свободной поверхности жидкости приведет к сворачиванию тонкой жидкой пленки в более толстые слои, что в предельном случае является причиной нарушения сплошности покрытия.

В общем случае [8, 12] разрыва сплошности покрытия на поверхности подложки может и не быть, но в результате локального кинематического несмачивания произойдет увеличение количества пузырьков воздуха в покрытии. Отсюда можно сделать вывод о том, что существует некоторая критическая скорость налива, определяющая верхний предел максимально допустимой скорости движения подложки. По абсолютной величине эта скорость равна [4] скорости кинематического смачивания:

$$u_{кр} = u_c = u_{c0} + \frac{\Delta V_{kc}}{12\pi\eta} \quad (1)$$

где: $u_{кр}$ – критическая скорость движения подложки при наливе, м/с; u_c – скорость кинетического смачивания, м/с; u_{c0} – скорость кинетического смачивания без учета ее увеличения в результате скачка потенциала при образовании новой границы раздела, м/с; c – концентрация ПАВ; k – коэффициент пропорциональности; η – вязкость лакокрасочного материала.

Из приведенной формулы видно, что увеличение критической скорости налива происходит при улучшении смачивающей способности и уменьшения вязкости. Недостатком приведенной зависимости (1) является отсутствие в ней составляющих, которые влияют на процесс растекания, связанных с кинетической энергией падающей жидкости. Этот фактор согласно [5] оказывает значительное влияние на движущую силу растекания жидкости.

Предположим, что скорость свободного падения струи меньше по абсолютной величине скорости подачи деталей. В этом случае жидкость будет, кроме дополнительно растяжения, проявлять свои упругие свойства, что в свою очередь приводит к резкому ухудшению смачивания.

При повышении скорости падения струи, ее энергия возрастает. На основании закона сохранения энергии, можно предположить, что при контакте струи с твердой непроницаемой поверхностью подложки, обладающей меньшей скоростью, чем скорость струи жидкости, в зоне контакта произойдет ее расширение в направлении противоположном движению детали. Иначе говоря, произойдет противоток жидкости, вектор скорости которого совпадает по направлению со скоростью растекания жидкости, что увеличивает движущую силу растекания и приводит к улучшению смачивания.

С увеличением кинетической энергии падающей струи возрастает сила ее удара о поверхность подложки, что способствует разрушению увлекаемого поверхностью древесины пограничного слоя воздуха [8]. Разрушению пограничного слоя воздуха будет способствовать также встречное движение воздушного потока, увлекаемого падающей струей жидкости.

Увеличивать скорость падающей струи можно либо за счет возрастания секундного расхода через наливочное устройство, либо в результате повышения высоты свободного падения. Применение первого способа нежелательно, так как в этом случае для обеспечения заданной толщины пленки необходимо увеличивать скорость подачи конвейера. Целесообразнее изменить расположение наливочного устройства над поверхностью отделяемого изделия, за счет чего можно увеличить высоту свободного падения струи, секундный же расход жидкости в этом случае остается неизменным.

Для качественного нанесения тонкого жидкого слоя, как это следует из анализа реодинамических явлений, необходимо, чтобы процесс был

установившимся, то есть в любой точке жидкого слоя все кинематические, динамические, термодинамические и другие параметры управления должны быть независимыми от времени. Любое отклонение от этого условия приведет к неравномерности покрытия, нарушению его сплошности и локальному разрыву падающей струи. Такие явления могут быть результатом не только неустойчивости параметров процесса [8], а и проведения его при постоянных, но неоптимальных условиях.

Из условия неразрывности потока, при постоянном расходе лака, $Q = const$, с увеличением расстояния от разливочной головки, в связи с ростом скорости, площадь сечения струи должна уменьшаться. Это, естественно, вызывает растяжение струи, приводящее к возникновению в ней напряжений. С физической точки зрения основной причиной растяжения свободнопадающей струи является действие силы гравитации, а также сопротивление, обусловленное действием поверхностных сил трения и инерции.

Как следует из работы [9] локальное напряжение сдвига, возникающее на поверхности свободнопадающего тела со скоростью u в среде с плотностью ρ^0 , может быть записано в виде уравнения:

$$P_{y6} = \frac{1}{2} \rho^0 u c_{\psi} \quad (2)$$

где c_{ψ} – коэффициент аэродинамического трения, зависящий от скорости движущегося тела, геометрии его поверхности и кинематической вязкости среды.

Таким образом, из уравнения (2) вытекает, что с увеличением любого члена правой части, возрастает сопротивление растягивающей силе, что приводит к уменьшению деформации струи. С точки зрения технологии это означает, что с увеличением вязкости и поверхностного натяжения лакокрасочного материала происходит снижение скорости падения струи в зоне контакта ее с подложкой. Для поддержания стабильности процесса, очевидно, необходимо увеличить время растяжения за счет повышения высоты падения лака.

При контакте струи с движущейся подложкой происходит переориентация движения жидкости. При этом приповерхностные слои жидкости ($y = 0$) за счет адгезивного взаимодействия с поверхностью подложки имеют скорость, равную скорости движения детали, а верхние ($y = h$) – меньшую за счет инерции. В результате, по толщине слоя, увлекаемого подложкой, возникает градиент скоростей деформации жидкости. Если скорость движения подложки соизмерима со скоростью падающей жидкости, то происходит переориентация движения свободнопадающей струи в направлении движения потока. Во всех случаях, когда скорость движения детали меньше скорости свободного падения

жидкости, последняя в избытке наносится в зону контакта и, за счет адгезионной связи с поверхностью подложки, вытягивается из этой избыточной массы лака.

Реологическая составляющая, как известно, пропорциональна вязкости. Следовательно, при постоянной объемной скорости струи, с увеличением вязкости требуется большее растягивающее усилие для получения заданной толщины. Поскольку поверхностные и аэродинамические силы невелики, то добиться необходимой толщины можно только увеличивая скорость подачи деталей, что нежелательно из-за ухудшения условий смачивания.

В связи с этим представляется целесообразным увеличение растягивающего напряжения за счет сил гравитации. С физической точки зрения это возможно, если организовать восходящее движение подложки к горизонту ($\alpha > 0^\circ$). В этом случае векторы скорости движения подложки и падения струи противоположны. Значит, составляющие силы тяжести и силы инерции совпадают по направлению и действуют против движения детали. В результате напряжение сдвига в зоне контакта возрастает, что соответственно, приведет к увеличению растягивающего напряжения, действующего на жидкость в зоне контакта. Вследствие этого жидкий слой на поверхности окажется заторможенным, что приведет, при постоянной скорости движения подложки, к созданию более тонкого покрытия. Кроме того, увлекаемые подложкой и свободнопадающей струей воздушные потоки будут противоположны, а движущая сила растекания совпадает с направлением гравитационной составляющей, что естественно, улучшит смачивание и в конечном итоге положительно скажется на качестве формируемого покрытия.

Выводы.

Механизм формирования жидкого адгезированного слоя на поверхности древесины можно уподобить процессу вытягивания пленки из избыточной массы жидкого лака.

Для конкретного вида лакокрасочного материала и подложки при наливке существует некоторая критическая скорость движения детали, которая является верхним пределом области скоростей кинетического смачивания.

Превышение критической скорости подачи детали приводит к локальному несмачиванию отделяемой поверхности, а в предельном случае влечет за собой нарушение сплошности жидкого слоя, так называемые пропуски – участки несмоченной лаком поверхности.

Уменьшить количество наносимого лака, сохраняя качество покрытия, можно при постоянной скорости движения подложки за счет организации процесса налива на конвейере, расположенном под некоторым углом к горизонту ($\alpha > 0^\circ$).

Библиографический список

1. Адам Н.К. Физика и химия поверхностей. Перевод с английского под редакцией А.С. Ахматова. М.-Л.: Гостехиздат, 1947. – 552с.
2. Адамсон А. Физическая химия поверхностей. Перевод с английского. М.: Мир, 1979. – 568с.
3. Дерягин Б.В., Леви С.М. Физикохимия нанесения тонких слоев на движущуюся подложку. М.: АН СССР, 1959. – 208с.
4. Дерягин Б.В., Леви С.М. Новые аспекты теории полива фотографических слоев. // Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии. Т.26, вып. 2, 1981. – С. 81-89.
5. Зимон А.Д. Адгезия жидкости и смачивание. М.: Химия, 1976. – 432с.
6. Зябицкий А. Теоретические основы формирования волокон. Перевод с английского, 1979. – 504с.
7. Онегин В.И., Егоров В.А., Ревенков В.Г., Черных А.Г. Оптимальное управление отрывом потока при формировании лакокрасочного покрытий на древесины методом налива. Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Процессы механической обработки склеивания и отделки древесины. Л.: ЛТА, 1983. – 4с.
8. Онегин В.И., Черных А.Г., Егоров В.А. Исследование процесса нанесения жидких лакокрасочных материалов на движущуюся подложку. // Депонированная рукопись №11(133). М.: ВИНТИ, 1982. – 5с.
9. Онегин В.И., Черных А.Г., Израелит А.Б., Егоров В.А. Динамические явления при формировании лакокрасочных покрытий древесины методом налива. // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Л.: ЛТА, 1985. – 3с.
10. Онегин В.И., Сергеевичев А.В. Физико-химические основы процессов формирования полимерных покрытий на твердой поверхности. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. №223. – С.213-227.
11. Сумм Б.В., Горюнов Ю.В. Физико-химические основы смачивания и растекания. М.: Химия, 1976. – 232с.
12. Черных А.Г. Теоретический анализ закономерностей формирования покрытий при наливе. // Депонированная научная работа №1537лб. М.:ВНИПИЭМлеспром, 1984. – 9с.
13. Черных А.Г., Онегин В.И., Егоров В.А. Применение скоростной фоторегистрации для изучения свойств лакокрасочных материалов. // Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Межвузовский сборник научных трудов. Л.: ЛТА. Выт. 10, 1981. – С. 95-98.
14. Черных А.Г., Онегин В.И. Влияние кинематики контактирующих фаз на кинетику смачивания при наливе. // Депонированная научная работа №1537лб. М.: ВНИПИЭМлеспром, 1984. – 9с.

Сведения об авторах

ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	910sav@gmail.com
ФИО	Онегин Владимир Иванович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код –
e-mail onegin.ltu@mail.ru

ФИО Машутин Анатолий Сергеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код –
e-mail anatoli.mashutin@yandex.ru

Аннотация

Механизм формирования жидкого адгезированного слоя на поверхности древесины можно уподобить процессу вытягивания пленки из избыточной массы жидкого лака. Превышение критической скорости подачи детали приводит к локальному несмачиванию отделяемой поверхности, а в предельном случае влечет за собой нарушение сплошности жидкого слоя, так называемые пропуски – участки несмоченной лаком поверхности.

Ключевые слова: механизм формирования жидкого адгезированного слоя.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

К вопросу оптимизации свойств комбинированной фанеры

Сергеевичев В.В., Сергеевичев А.В., Хрусталева И.В., Машутин А.С.

В последнее время возрастает интерес к разработке условий оптимального использования сырья в связи с увеличением дефицита древесины. Учитывая возможные области применения комбинированной фанеры, можно расположить ее эксплуатационные свойства по уровню значимости:

1. Механические прочность и жесткость, определяющие надежность и долговечность изделий и конструкционных элементов из комбинированной фанеры;
2. Износостойкость поверхностных слоев комбинированной фанеры, определяющая ее эксплуатационный ресурс в полах и ограждениях [1];
3. Теплозащитные и ограждающие свойства, используемые в стенах, покрытиях, защитных устройствах;

4. Декоративные и гигиенические свойства, характеризующие возможность применения материала в интерьерах и мебели.

Компромиссное сочетание данных характеристик позволяет наметить возможные условия оптимизации строения комбинированной фанеры, т.к. основной критерий оптимизации определяется, в конечном итоге, из экономических соображений.

Решение данной задачи в общем виде представляет определенные трудности. При решении задачи оптимизации эксплуатационных свойств комбинированной фанеры параллельно встает задача оптимизации опытного определения свойств комбинированной фанеры и в первую очередь – механических характеристик. Здесь критерий оптимизации сводится к объективности и устойчивости количественных значений соответствующих характеристик.

Оптимизация строения комбинированной фанеры для получения хороших механических свойств, может быть основана на методе испытания, обеспечивающем объективность и достоверность количественных характеристик исследуемых свойств. Величины механических свойств одних и тех же образцов комбинированной фанеры существенно зависят от метода испытаний [2].

Во всех стандартных методах испытания на изгиб загрузке осуществляется одной или двумя сосредоточенными силами, т.е. создается деформация поперечного изгиба, и в сечениях образцов возникают нормальные и касательные напряжения.

Величина касательных напряжений зависит от соотношения высоты и длины образца и в коротких образцах может быть значительной. Так при реальных соотношениях касательные напряжения достигают до 5% нормальных [3]. Учитывая, что наибольшие касательные напряжения в комбинированной фанере действуют в относительно слабых прослойках заполнителя, то они могут существенно снижать прочность образца. Прочность на скалывание древесноволокнистых и древесностружечных плит во много раз (в 20÷30 раз) ниже осевой прочности шпона в окаймляющих листах шпона. Поэтому касательные напряжения в прослойках комбинированной фанеры при поперечном изгибе является причиной ее разрушения. Исходя из этого, испытания на изгиб при действии нагрузок, вызывающих поперечные силы, всегда дают искаженные результаты. На эти искажения также оказывают влияние различия в строении испытываемых образцов, которые очень сильно проявляются в комбинированной фанере. Из-за этого экспериментальные характеристики прочности и жесткости комбинированной фанеры разного

строения становятся несопоставимыми. Отмеченное явление усугубляется невозможностью переноса результатов испытания коротких образцов на любые конструкционные элементы. Это проявляется и в элементах из обычной древесины и фанеры, но в них сильное искажение испытаний от касательных напряжений проявляется при малых относительных прогибах. Поэтому стандартные испытания на изгиб дают приемлемые результаты. В комбинированной фанере в связи с малой прочностью заполнителя на скалывание касательные напряжения сильно проявляются при значительных пролетах. Выход может быть найден только при переходе к испытаниям при чистых деформациях. При испытаниях на скалывание осуществляется практически чистая деформация сдвига.

Важным этапом оптимизации строения комбинированной фанеры является подбор свойств заполнителя.

Один из возможных путей подбора рациональных или оптимальных строений комбинированной фанеры сводится к обеспечению заданных соотношений жесткостей или прочностей в ортогональных направлениях комбинированной фанеры [3]. Такой подбор сравнительно легко осуществляется, но он естественно ограничен и полученные при этом сечения могут не соответствовать условиям экономической и технологической оптимизации. Оставляя в стороне технологические критерии, связанные с условиями набора слоев, их склеивания и режимами изготовления, остановимся на критериях эксплуатационных и экономических.

Оптимизация по механическим характеристикам возможна только на основе объективных, воспроизводимых и устойчивых критериев. Необходимо избегать одновременного воздействия различных напряжений, нормальных и касательных, из-за их различного влияния на прочность и жесткость образцов. К однородным напряженным состояниям можно отнести чистый изгиб и с некоторым приближением скалывание [4].

Испытание на чистый изгиб позволяет определить параметры неоднородности любого составного материала, а также разработать рекомендации по обеспечению необходимых условий совместной работы характеристик отдельных слоев комбинированной фанеры, т.е. выйти на оптимизацию технологических режимов [2].

Важнейшим этапом улучшения строения комбинированной фанеры является подбор плотности заполнителя. Такой подбор имеет ярко выраженный экономический аспект и является необходимым условием оптимизации материала.

Оптимизация строения комбинированной фанеры по характеристикам прочности и жесткости может подчиняться различным условиям. К таким

условиям можно отнести, например, обеспечение заданного соотношения прочности или жесткости в фиксированных направлениях материала. Существенное влияние при этом оказывают технологические режимы изготовления материала.

В целом выравнивание и оптимизация механических свойств и строения для комбинированной фанеры является более сложной задачей, чем для обычной фанеры и для древеснослоистых пластиков. А конкурентоспособность комбинированной фанеры по сравнению с древесными материалами не вызывает сомнений.

Библиографический список

1. Варанкина Г.С., Чубинский А.Н. Формирование низкотоксичных клееных древесных материалов. СПб.: Химиздат, 2014. 148с.
2. Сергеевичев А.В. Основные характеристики процесса шлифования древесины и древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. №208. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С.138-152.
3. Сергеевичев В.В., Мартынов Б.Г. Температурные деформации и напряжения в армированных клееных деревянных конструкциях // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. №199. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. С.176-182.
4. Сергеевичев В.В., Михайлова А.Е. Анализ взаимодействия валков с древесиной в прессах непрерывного действия // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. №214. СПб.: СПбГЛТУ, 2016. С.203-217.

Сведения об авторах

ФИО	Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	alexander910@yandex.ru
ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	910sav@gmail.com
ФИО	Хрусталева Иннесса Владимировна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код –
e-mail innessachrustaliova@gmail.com

ФИО Машутин Анатолий Сергеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код –
e-mail anatoli.mashutin@yandex.ru

Аннотация

Оптимизация строения комбинированной фанеры по характеристикам прочности и жесткости может подчиняться различным условиям. К таким условиям можно отнести, например, обеспечение заданного соотношения прочности или жесткости в фиксированных направлениях материала. Существенное влияние при этом оказывают технологические режимы изготовления материала.

Ключевые слова: технические условия, пиломатериалы, хвойные породы.
УДК 621.771.065

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Анализ влияния формы абразивного зерна на эффективность процесса шлифования древесины

Сергеевичев В.В., Сергеевичев А.В., Овчарова Е.О., Машутин А.С.

В деревообрабатывающей промышленности шлифование является заключительной операцией технологического процесса механической обработки изделий. Которая должна обеспечить выравнивание поверхности после предыдущей операции и придания ей требуемой шероховатости, а также удаления слоя древесины или древесного материала для обеспечения заданного размера изделия. Поэтому вопросы достижения необходимого качества поверхности имеют практический и теоретический интерес [1].

Эффективность процесса шлифования во многом зависит от свойств абразивных зерен, так как они являются основным режущим элементом шлифовальной шкурки. В качестве абразивного материала шлифовальной шкурки для обработки древесины и древесных материалов, в основном

применяются искусственные абразивные материалы: электрокорунд (окись алюминия Al_2O_3) и карбид кремния (SiC).

Одной из главных причин снижения эффективности использования шлифовальных лент, является неупорядоченность формы абразивного зерна. Произвольная форма зерен формирует неблагоприятную геометрию их режущих микроклиньев, вследствие чего, часть зерен не участвует в совокупном процессе микрорезания вообще, либо принимает минимальное участие. Дефекты, возникающие в результате неупорядоченности формы зерен, снижают физико-механические и режущие свойства абразивного инструмента. Устранив проблемы неупорядоченности формы зерна, мы получим возможности повышения эффективности процесса шлифования.

Форма зерна влияет на [2]:

- его сцепления со связкой;
- абразивную способность;
- механическую прочность.

Повысить режущие свойства и износостойкость абразивного инструмента можно упорядочением геометрии зерен, т.е. подбором рациональной формы зерен и их целенаправленным ориентированием для конкретных условий обработки и параметров силового нагружения.

Абразивные материалы после дробления и измельчения сортируют, просеивая через сита разного размера ячеек и получают шлифовальный материал, согласно ГОСТ 3647-80, подразделяется на:

- шлифзерно с размером зерен в диапазоне от 2000 до 160 мкм;
- шлифпорошки от 125 до 40 мкм;
- микрошлифпорошки от 63 до 10 мкм;
- тонкие микрошлифпорошки от 10 до 3 мкм.

Эти диапазоны подразделяются на зерна конкретных размеров (зернистость). Классификация зернистости шлифовального материала по размерам осуществляется в мировой практике по нескольким стандартам. В России, в соответствии с ГОСТ 3647-80, зернистость шлифзерен и шлифпорошков обозначается, как 0,1 размера стороны ячейки сита в свету в микрометрах, на котором задерживаются зерна основной фракции [2]. В соответствии с ГОСТ разброс размеров зерен одной зернистости составляет от 25 до 28%.

Абразивные зерна изготавливаются из абразивного материала путем его дробления и измельчения. Характер воздействия на измельченный материал (удар, истирание, скалывание) существенно сказывается на форме частиц.

Серийной изготовленный шлифовальный инструмент включает хаотично расположенные в его связке абразивные зерна изометричной, пластинчатой и

мечевидной формы конфигурации. Изометричные зерна имеют округлую симметричную форму (приблизительно равные по высоте, ширине и толщине), а зерна пластинчатые и мечевидные имеют ярко выраженную несимметричную форму. Основной формой абразивных зерен является изометричная [3].

Количественная оценка формы зерна, производится определением общепринятого параметра – «коэффициента формы» зерна. Самыми оптимальными способами его определения являются:

- рассмотрение зерна как эллипсоид вращения, под коэффициентом формы понимает соотношение его меньшей и большей осей;
- определять коэффициенты формы как отношение диаметра описанной окружности вокруг проекции зерна к диаметру вписанной окружности.

Механическая прочность частиц разных форм, и режущая способность в инструментах буду значительно отличаться друг от друга.

Специфической особенностью абразивного зерна как режущего элемента, является случайный характер их геометрических параметров. Эта особенность возникает вследствие неупорядоченном, случайно пространственном положении зерен (разная форма определяет разные углы резания, а, следовательно, и характер износа) в абразивном инструменте. Поэтому для более точной информации требуется получить максимально возможные массивы данных по геометрическим параметрам режущих кромок, используя свободное шлифовальное зерно.

Оценка свойств шлифовальных зерен только по параметрам «марка абразива» и «зернистость» (ГОСТ 3647-80) не дает возможности получить конкурентный и качественный шлифовальный инструмент, так как зерна одного номера зернистости имеют различную конфигурацию, которая изменяется от изометрической до мечевидной формы. Развернутых и полных исследований по вопросу влияния формы зерна на эксплуатационные характеристики шлифовального инструмента пока не найдено.

Библиографический список

1. Глебов И.Т. Резание древесины: Учебное пособие. СПб.: «Лань», 2010. 256с.
2. Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. Дереворежущие инструменты: Учебное пособие. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. С.265-294.
3. Сергеевичев А.В. Форма режущих кромок рабочей поверхности абразивного инструмента для шлифования древесины и древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. №210. С. 169-182.

Сведения об авторах

ФИО Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код —
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код —
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Овчарова Евгения Олеговна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код —
e-mail evgenya.ov4arova@yandex.ru

ФИО Машутин Анатолий Сергеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код —
e-mail anatoli.mashutin@yandex.ru

Аннотация

Эффективность процесса шлифования во многом зависит от свойств абразивных зерен, так как они являются основным режущим элементом шлифовальной шкурки.

Ключевые слова: форма абразивного зерна, эффективность шлифования древесины и древесных материалов.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Анализ деформации древесных материалов в прессах непрерывного действия

Михайлова А.Е., Сергеевичев В.В., Сергеевичев А.В., Машутин А.С.

При рассмотрении процессов растяжения, сжатия и сдвига древесины следует отличать деформации древесного вещества от деформации клеток.

Деформирование древесного вещества не вызывает заметного изменения его объема, тогда как деформирование клеток связано со значительными изменениями их формы и величины внутренних объемов. Стенки клеток сложным образом изгибаются, поэтому до разрушения древесины процессы деформирования ее сжатием и сдвигом можно рассматривать как геометрической формы клеток в результате изгибных деформаций стенок клеток [1].

На рис. 1 изображен график напряжения $\sigma_{сж}$ как функции относительной деформации ε при поперечном сжатии древесины, при котором ее клетки с тождественными поперечными сечениями расположены правильными рядами. Эти ряды равнопрочны (различия в сопротивлении их сжатию малы).

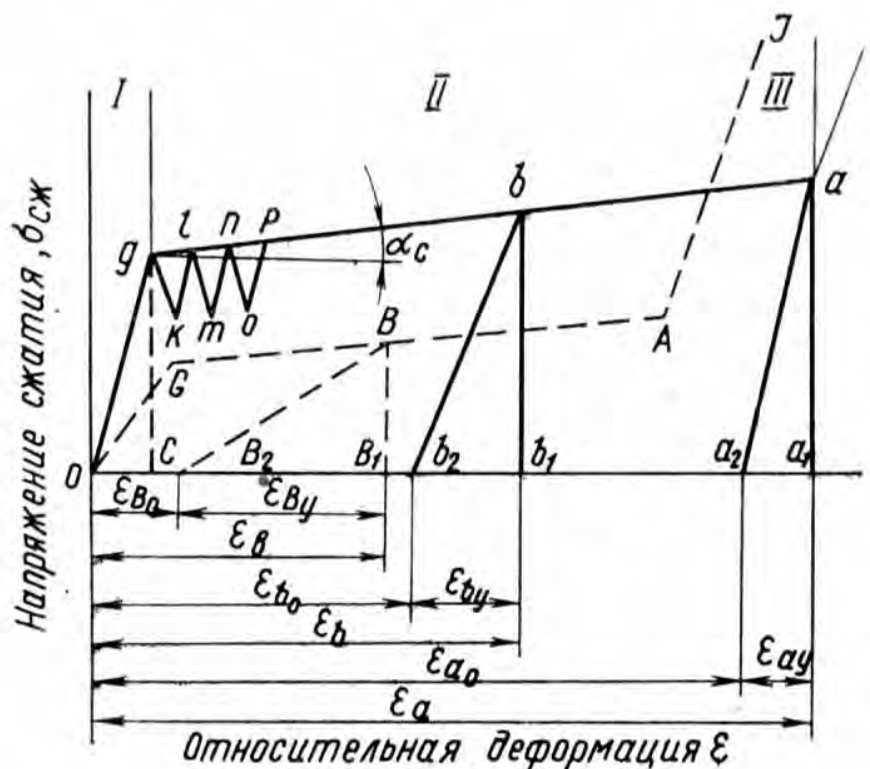


Рис. 1. Кривые «напряжение – относительная деформация» древесины, сжатой в замкнутом пространстве: oga_i – при влажности $W = 12\%$; $oGAJ$ – при влажности $W = 30\%$

На графике различают три участка. Участок og выражает сопротивление древесины деформации, когда ни одна из стенок клеток не потеряла устойчивости и структура испытываемой древесины не изменяется – образец получает только упругие деформации. В момент, определяемый положением точки g , стенки одного ряда клеток образца потеряли устойчивость, и весь ряд получил большую деформацию.

В процессе деформирования его сопротивление деформации уменьшилось до величины определяемой точкой k . Далее следует упрочнение слоя до величины, характеризуемой точкой l , после чего теряют устойчивость стенки клеток второго ряда, по прочности мало отличающегося от прочности первого ряда. Процесс повторяется многократно. Уровень точек g, l, n, p, a , а также точек k, m, o тем ближе к горизонтали, чем меньше различий в строении клеток и в расположении их рядов.

Степень правильности строения древесины определяется величина угла α_c , составленного вторым участком графика ga с осью ϵ .

На графике точке b соответствует полная деформация ϵ_b , равная сумме упругой ϵ_{by} и остаточной ϵ_{bo} деформаций.

Эти слагаемые определяются опытным путем по изменению ϵ_b при нагрузке образца древесины силой Q и ϵ_{bo} после снятия нагрузки. Площадь $ogbb_1$ выражает полную величину энергии, затраченной на деформирование древесины, площадь $ogbb_2$ – энергию, расходуемую на остаточное деформирование, а площадь b_2bb_1 – на упругое деформирование.

На том же рисунке точка a соответствует моменту, в который все ряды клеток образца древесины оказываются полностью деформированными, и древесина представляется сплошным (без воздушных полостей) телом.

На рис. 1 график $ogai$ получен при деформации сухой древесины, а график $oGAJ$ иллюстрирует деформирование влажной древесины. Особенность второго графика в том, что участок oGA лежит ниже участка oga первого графика, что объясняется пониженной сопротивляемостью сырой древесины сжатию сравнительно с сопротивляемостью сухой древесины. Кроме того, при сжатии сырой древесины плотное состояние достигается при меньшей относительной деформации, что объясняется разбуханием стенок клеток при увлажнении [2].

Библиографический список

1. Сергеевичев, А.В., Кушнерев, В.О. Формирование поверхности твердых тел: граничная область материал – среда // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, СПб.: СПбГЛТУ, 2014. №208. – С.138 – 152.
2. Нуллер, Б. М., Сергеевичев В.В. О моделировании процесса механической прокатки древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, СПб.: СПбГЛТА, 2002. № 10. С.100 – 104.

Сведения об авторах

ФИО	Михайлова Анна Евгеньевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	mikhailovaae@ya.ru
ФИО	Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	alexander910@yandex.ru
ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	910sav@gmail.com
ФИО	Машутин Анатолий Сергеевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	anatoli.mashutin@yandex.ru

Аннотация

Деформирование древесного вещества не вызывает заметного изменения его объема, тогда как деформирование клеток связано со значительными изменениями их формы и величины внутренних объемов.

Ключевые слова: деформирование древесного вещества, древесиноведение.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Анализ влияния режимных факторов на шероховатость шлифованной поверхности древесины

Сергеевичев А.В.

Шлифование – один из видов механической обработки древесины и древесных материалов резанием, характеризуемый перемещением с большими скоростями активных абразивных зерен, расположенных на рабочей поверхности шлифовальной шкурки и находящихся под действием нормальных и касательных сил. Резание древесины абразивным инструментом – шлифовальной шкуркой, носит массовый характер агрессии, связанный с дисперсной структурой шлифовальных шкурок.

В статье рассмотрено влияние скорости резания и подачи на шероховатость обработанной поверхности, являющимися одними из основных факторов.

На рис. 1 показаны зависимости высоты неровностей шлифованной поверхности от длины шлифования за период стойкости шлифовальной ленты для разных значений скорости резания при постоянной скорости подачи 18 м/мин. Кривые указывают на быстрое возрастание высоты неровностей шлифованной поверхности при малых значениях скорости резания. Увеличение скорости резания до 30 м/с приводит к более медленному возрастанию высоты неровностей. Скорость резания 40 м/с ещё больше снижает рост высоты неровностей, но поскольку в данном случае шлифовальная лента работает в режиме засаливания, то длина шлифования составляет всего 1500 погонных метров, а высота неровностей за период стойкости шлифовальной ленты из-за ее засаливания не достигла 60 мкм. Длина шлифования достигает своего наибольшего значения при критическом значении скорости резания. Кривая 1 получена в режиме самозатачивания, кривая 3 – в режиме засаливания. Такой ход кривых [1] объясняется тем, что при малых скоростях резания и, соответствующем коэффициенте режима шлифования толщина стружки, снимаемая каждым работающим зерном, больше, больше также силы резания, действующие на эти зёрна. Вследствие этого разрушаемость абразивных зёрен протекает интенсивнее и как результат – увеличение шероховатости шлифованной поверхности при малой длине шлифования. С увеличением скорости резания, при прочих равных условиях, протекают обратные процессы, а именно: шероховатость обработанной поверхности уменьшается, увеличивается стойкость шлифовальной шкурки.

При шлифовании древесины на скоростях резания выше критических – развивающиеся высокие температуры в зоне контакта инструмента с древесиной приводят к прижугу шлифуемой поверхности и засаливанию

шлифовальной ленты, в результате чего длина шлифования сокращается. Согласно исследованиям, [2] развитие высоких температур в зоне резания объясняется увеличением работы трения и, следовательно, количества выделяемого при этом тепла, идущего на нагревание обрабатываемого материала, абразивного инструмента и частично распространяемого в окружающую среду. Значительная часть тепла уносится из зоны контакта со стружкой, но ввиду малого объёма снимаемой стружки, низкой теплопроводности древесины и шлифовальной ленты большое количество тепла аккумулируется в зоне контакта, вызывая прижег древесины и тем самым засаливание абразивного инструмента [3]. После полного засаливания шлифовальной шкурки шероховатость шлифованной поверхности резко увеличивается.

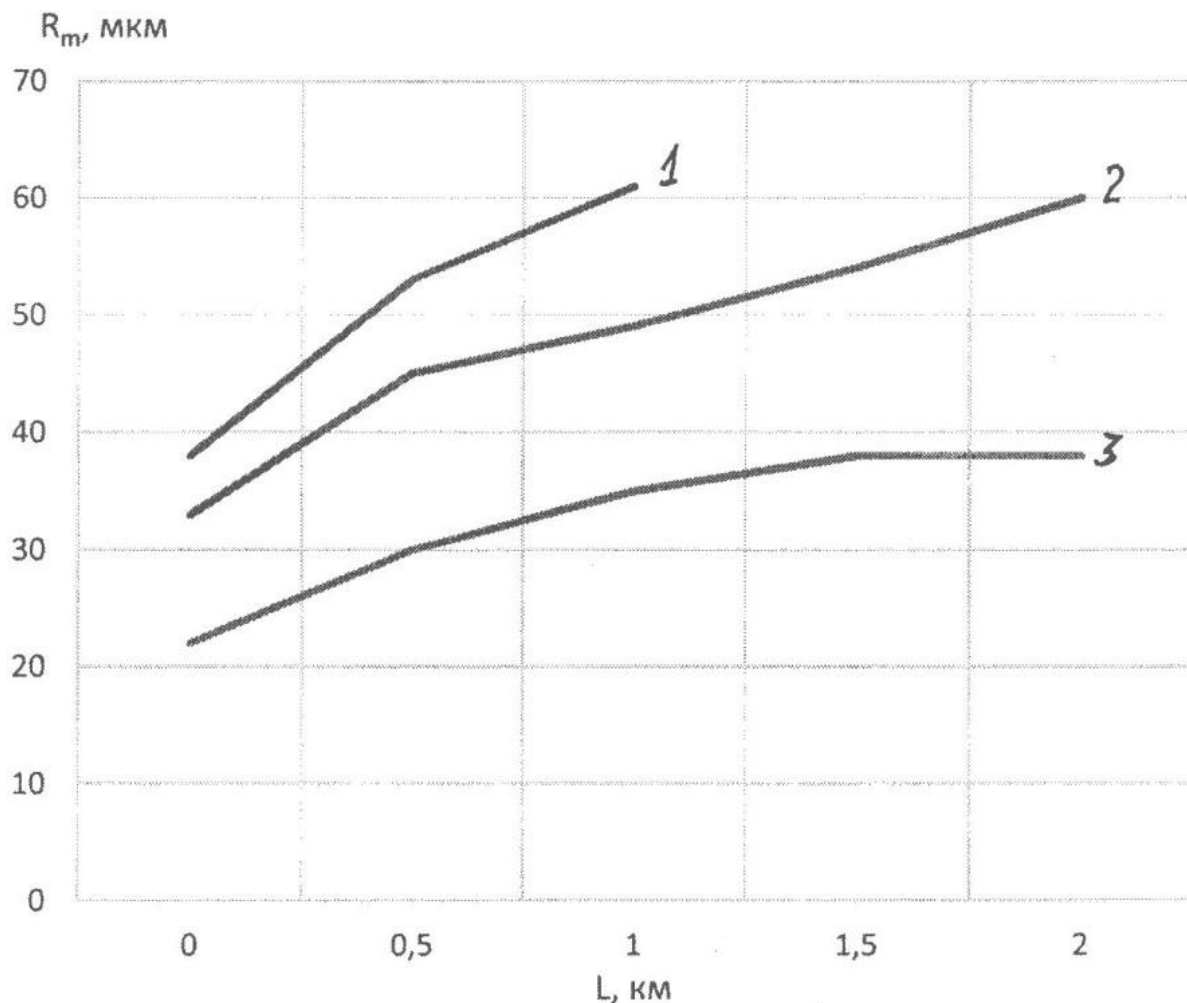


Рис. 1. Зависимость высоты неровностей шлифованной поверхности R_m от длины шлифования L за период стойкости шлифовальной ленты для разных значений скорости резания V : 1 – $V = 20$ м/с; 2 – $V = 30$ м/с; 3 – $V = 40$ м/с; $u = 18$ м/мин

Влияние скорости подачи на высоту неровностей шлифованной поверхности R_m показано на рис. 2. Из графика видно, что с увеличением скорости подачи шероховатость поверхности возрастает. Наибольшая стойкость абразивного инструмента получена при скорости подачи $u = 10$ м/мин, но при этом инструмент работает крайне неустойчиво – склонен к засаливанию. Причина засаливания инструмента при малых скоростях подачи, очевидно, та же, что и при больших скоростях резания – значительное повышение температуры в зоне контакта инструмента с обрабатываемым материалом из-за плохого отвода тепла. Из рис. 2. также следует, что высота неровностей шлифованной поверхности с увеличением времени работы шлифовальной ленты возрастает. Малую высоту неровностей в начальный период работы инструмента можно объяснить тем, что после правки разновысотность расположения зёрен на рабочей поверхности шлифовальной ленты минимальная. В процессе работы инструмента с его рабочей поверхности от зёрен, имеющих трещины откалываются и уносятся вместе со стружкой отдельные кусочки, происходит выкрашивание зёрен, плохо сориентированных или непрочно удерживаемых связкой. При этом разновысотность расположения зёрен возрастает, что приводит к увеличению шероховатости поверхности.

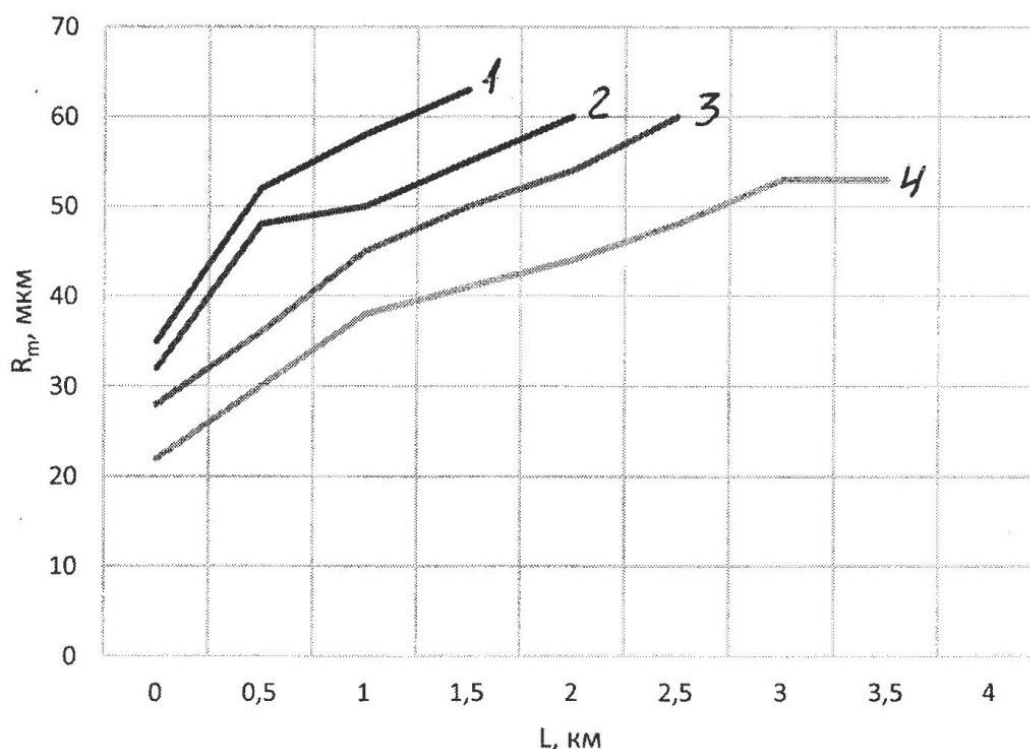


Рис. 2. Зависимость высоты неровностей шлифованной поверхности R_m от длины шлифования L за период стойкости шлифовальной ленты для разных значений скорости подачи u : 1 – $u = 22$ м/мин; 2 – $u = 18$ м/мин; 3 – $u = 14$ м/мин; 4 – $u = 10$ м/мин; $V = 30$ м/с

Зависимость высоты неровностей от длины шлифования приближается к линейной в тяжелых условиях работы шлифовальной ленты (малая скорость резания или большая скорость подачи), т.е. в режиме интенсивного износа.

Выводы:

1. В зависимости от скорости резания при постоянной скорости подачи шлифовальная лента может работать с самозатачиванием или с затуплением. Наибольшая стойкость шлифовальной ленты может быть получена при переходном периоде работы инструмента между самозатачиванием и затуплением (критический режим).
2. Высота неровностей шлифованной поверхности в значительной мере зависит от значений скоростей резания и подачи. С увеличением скорости резания и уменьшением скорости подачи высота неровностей уменьшается.

Библиографический список

1. Чубинский А.Н., Тамби А.А., Федяев Ар.А. Влияние строения и свойств древесины на прочность ее склеивания. [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 190, 2010. – С. 155-162.
2. Воскресенский В.Е., Онегин В.И. Резервы ресурсосбережения в системах приточной вентиляции цехов шлифования фанеры. [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 198, 2012. – С. 149-159.
3. Овчарова Е.О., Сергеевичев В.В., Семенов А.В. Анализ влияния формы абразивного зерна на эффективность процесса шлифования древесины. [Текст] // Материалы Второй международной научно-технической конференции Леса России: политика, промышленность, наука, образование, 2017. – С. 115-117.

Сведения об авторах

ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

Зависимость высоты неровностей от длины шлифования приближается к линейной в тяжелых условиях работы шлифовальной ленты (малая скорость резания или большая скорость подачи), т.е. в режиме интенсивного износа.

Ключевые слова: шероховатость обработанной поверхности древесины.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Анализ закономерностей износа вершин формообразующих элементов шлифовального инструмента для обработки древесины

Сергеевичев А.В.

Резание древесины абразивным инструментом – шлифовальной шкуркой, носит массовый характер агрессии, связанный с дисперсной структурой шлифовальных шкурок.

Отличием шлифования от других видов механической обработки древесины резанием (строгание, фрезерование, сверление и т.д.) является отсутствие у абразивных инструментов постоянных, определенных геометрических параметров режущей части шлифовальной шкурки.

Резание древесины и древесных материалов при шлифовании осуществляется абразивными зёрнами. По форме абразивные зёрна могут быть изометричные, пластинчатые и мечевидные. Изометричные зёрна имеют округлую симметричную форму (приблизительно равные размеры по высоте, ширине и толщине), а зёрна пластинчатые и мечевидные имеют ярко выраженную несимметричную форму. Основной формой абразивных зёрен является изометричная.

Средний радиус закругления режущих кромок лезвий абразивных зёрен $\rho = 3...30$ мкм и зависит, соответственно, от размера зёрен. Это обстоятельство, в частности, указывает на то, что уменьшения шероховатости поверхности при шлифовании мелкозернистыми шкурками достигается не только за счет уменьшения толщины срезаемых слоев, но и за счет более высокой остроты режущих кромок мелких зёрен [3].

Число абразивных зёрен одновременно взаимодействующих с обрабатываемой поверхностью зависит от размера зёрен (зернистости), степени их затупления, площади контакта с обрабатываемым изделием и характеристик режима шлифования. Этими же параметрами, в основном, определяется величина шероховатости обработанной поверхности, производительность процесса и стойкость шлифовальной шкурки.

Абразивные зёрна изготавливаются из абразивного материала путем его дробления и измельчения. Абразивные материалы должны обладать высокой твердостью, прочностью и должны быть достаточно хрупкими. Абразивные материалы подразделяются на природные и искусственные (синтетические). К природным относятся кварц, наждак, кремень, корунд и др. Основным недостатком природных абразивных материалов является наличие примесей, существенно снижающие их режущие свойства.

Описание базового участка рабочей поверхности абразивного инструмента предусматривает определение геометрических размеров, числа и распределения

формообразующих элементов. Форма элементов зависит от их природы и вида. Для процессов обработки лезвийным инструментом она задается в виде неслучайных параметров. Для процессов второй группы элементы не имеют регулярной геометрии, их форма может быть смоделирована случайными функциями.

Другим возможным вариантом моделирования элемента рабочей поверхности инструмента является описание только той его части, которая непосредственно определяет процесс формообразования. При анализе операций обработки заготовок абразивными инструментами предполагают, что вершина зерна, выступающая над уровнем связки, может иметь форму конуса, конуса с закругленной вершиной, конуса с усеченной вершиной, шара [2].

Анализ существующих моделей режущих элементов абразивных зерен, [4] показывает, что модель в виде параболы является по сравнению с другими более предпочтительной и с высокой степенью точности соответствует экспериментальным геометрическим параметрам абразивных зерен.

Радиус кривизны на участках выбросов может значительно отличаться от значения радиуса средней окружности. Аналитическое определение радиуса кривизны приводит к изучению главных кривизн профиля в точках локальных максимумов, превышающих некоторый уровень. Для гауссовой однородной и изотропной случайной поверхности они вычисляются в работе. На практике часто бывает значительно проще непосредственно изучить геометрические параметры вершин формообразующих элементов. По данным многих исследователей [1], радиус при вершине зерна зависит от материала абразивного зерна, способа изготовления, зернистости инструмента. Использование второго подхода при моделировании элементов рабочей поверхности инструмента в ряде случаев является более предпочтительным, так как по геометрии вершин накоплено больше практических данных, чем по геометрии зерен в целом.

Текущий радиус округления зависит от его исходного значения, условий контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом, режима резания и времени работы инструмента. С увеличением времени работы инструмента закономерно увеличивается текущий радиус округления, на вершине зерна появляется радиусная площадка износа, наблюдается затупление абразивного зерна.

Экспериментальная проверка закономерностей износа вершин формообразующих элементов выполнена при микрорезании образцов зернами из карбида кремния зеленого. Исходную поверхность образцов подготавливали обтачиванием с продольной подачей 0,31 мм/об остро заточенным резцом с углом при вершине 75° . Величина слоя шероховатости исходной поверхности

составляла 0,2 мм. Опыты проводили при частоте вращения детали 20,83 Гц, продольной подаче 0,21 мм/об, глубине микрорезания 0,16 мм. Профиль единичных зерен зарисовывали на инструментальном микроскопе при 50-ти кратном увеличении. Типичная картина изменения профиля вершин зерен карбида кремния зеленого после одного, двух, ... пяти проходов представлена на рис. 1 кривыми 2, 3, 4, 5 и 6 соответственно. В табл. 1 приведено сопоставление расчетных и экспериментальных значений радиуса округления вершины зерна по проходам для зерен из твердого сплава.

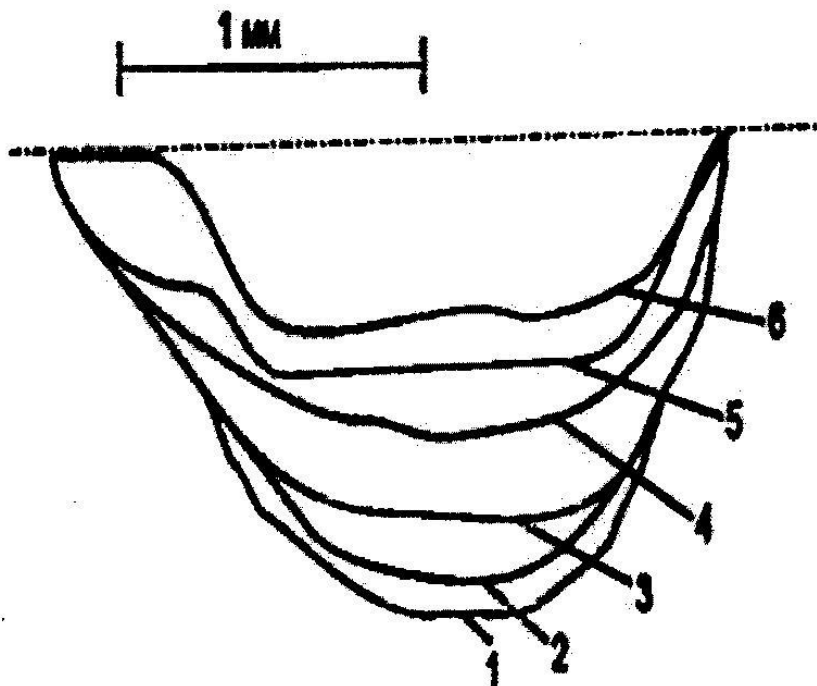


Рис. 1. Изменение контура абразивного зерна: контур вершины зерна из карбида кремния зеленого после одного, двух ... пяти проходов (кривые 2, 3, ... 6 соответственно)

Таблица 1. Изменение радиуса закругления вершин зерен

№ прохода		0	1	2	3	4	
Радиус закругления при вершине зерна, мм	1-го зерна	Экспериментальный	1,2	1,4	1,8	2,2	2,8
		Расчетный	1,20	1,70	1,94	2,34	2,77
	2-го зерна	Экспериментальный	0,6	—	1,1	—	2,4
		Расчетный	0,60	—	1,15	—	2,15
	3-го зерна	Экспериментальный	1,0	—	1,8	—	2,4
		Расчетный	1,0	—	1,9	—	3,1

Отмечается закономерное увеличение радиуса вершины за счет износа. За один проход он возрастает в 1,2...1,5 раза. Аналогичное изменение профиля вершин зерен наблюдается и в абразивном инструменте. Притупление зерна закономерно увеличивается вплоть до его разрушения или вырывания из связки.

Библиографический список

1. Кощев В.Н. Об остроте текущих углов абразивных зерен // Станки и инструменты. – М.: Машгиз, 1964. №3. С.27-28.
2. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. Севастополь: СевНТУ, 2012. 304 с.
3. Сергеевичев А.В. Основные характеристики процесса шлифования древесины и древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 206. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С.124-138.
4. Суханов В.Г., Кишенков В.В. Резание древесины и дереворежущий инструмент. Учебное пособие. М.: МГУЛ, 2002. 168с.

Сведения об авторах

ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

Отмечается закономерное увеличение радиуса вершины за счет износа. За один проход он возрастает в 1,2...1,5 раза. Аналогичное изменение профиля вершин зерен наблюдается и в абразивном инструменте. Притупление зерна закономерно увеличивается вплоть до его разрушения или вырывания из связки.

Ключевые слова: износ, механическая обработка древесины, абразив, шлифование.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Основные положения по разработке стандартов на продукцию лесопиления

Бызов В.Е., Сергеевичев А.В.

Пиломатериалы находят широкое применение в промышленном и гражданском строительстве, при производстве столярных и мебельных изделий в авто и вагоностроении. В основном это пиломатериалы разного поперечного сечения из древесины хвойных пород. Качество пиломатериалов должно соответствовать требованиям ГОСТ 8486 «Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия». В стандарте приведены требования к 0, 1, 2, 3 и 4

сортам пиломатериалов. Пиломатериалы относятся к определённому сорту в зависимости от наличия и размеров, присутствующих в них сортообразующих пороков.

Известно, что главным принципом экономического развития государства является бережное отношение к ресурсам. Одним из направлений эффективного ресурсосбережения является рациональное использование древесины. В то же время большая часть пиломатериалов, находящихся в товарном обращении, поставляются потребителям как обезличенные полуфабрикаты без учёта их конкретного назначения. Это приводит к неэффективному расходу древесины при производстве изделий вследствие значительного количества отходов при их переработке. Поэтому для повышения эффективности производства и потребления древесины в строительстве наиболее приемлемым является производство пиломатериалов целевого назначения, рассчитанных на конкретного потребителя.

Наиболее показательным примером являются пиломатериалы для изготовления элементов несущих строительных конструкций. Многочисленные исследования отечественных и зарубежных учёных показывают, что часть пиломатериалов, используемых для изготовления элементов несущих конструкций, имеют прочностные характеристики значительно выше необходимых. В то же время часть пиломатериалов, обладающих требуемой прочностью, не допускаются к использованию для изготовления деревянных конструкций нормативно-технической документацией [1]. Это происходит из-за значительной изменчивости прочностных характеристик пиломатериалов, обусловленной различными условиями её произрастания, а также рядом других причин. Ввиду значительной изменчивости прочностных характеристик пиломатериалов в пределах одной сортовой группы находятся пиломатериалы с широким диапазоном пределов прочности. В тоже время прочность пиломатериалов разного сорта отличается незначительно и поля распределений значений пределов прочности сортов накладываются друг на друга. Это приводит к неэффективному использованию древесины в строительстве.

Для разрешения этого противоречия в 70-х годах прошлого века было предложено в основу нормирования показателей качества ввести разделение показателей качества на потребительские и производственные. Эти принципы применительно к пиломатериалам наиболее полно отражены в работах советских учёных Свиткина М.З., Огурцова В.В., Боровикова А.М. [1, 2, 3]. Например, по определению, предложенному Боровиковым А.М. [1], потребительские показатели качества – совокупность показателей, обеспечение которых необходимо потребителю для возможности применения изделия. Производственные показатели качества – совокупность показателей,

подлежащих производственному контролю для гарантии потребительских свойств.

Потребительские требования для довольно большого промежутка времени, постоянны. Они неизменны для потребителей, использующих однородную продукцию. Потребительские требования целесообразно нормировать на уровне национального стандарта вида технических условий. При оценке качества, измерению подлежат потребительские требования. Производственные показатели качества, должны являться компетенцией производителя и должны регистрироваться в стандартах предприятия. В этом случае обеспечивается лучшее использование свойств продукции и зависимостей между ними и, не сковывается инициатива предприятий в выборе эффективных способов сортировки пиломатериалов по качеству. Возможные изменения производственных показателей не влекут за собой изменение потребительских показателей качества, то есть интересы потребителей не затрагиваются.

При разработке технических условий рекомендуется использовать понятия «качество продукции» и «способ обеспечения качества». В случае технических условий на пиломатериалы, используемые для изготовления несущих строительных конструкций, следует нормировать показатели следующих потребительских свойств: прочности, размеров, правильности геометрической формы, целостности и биологической стойкости, и некоторых других. Критическим свойством, то есть однозначно определяющим возможность их использования, является прочность пиломатериалов. Способы обеспечения потребительских свойств должны быть указано в другом нормативном документе – стандарте предприятия. Эти и доски способы основываются на самых передовых достижениях науки и техники. Стандарт предприятия на правила сортировки разрабатывается на каждом предприятии-изготовителе пиломатериалов и, утверждаются на уровне руководителя предприятия. Они пересматриваются при появлении новых способов обеспечения потребительских свойств. В тоже время потребительские требования довольно продолжительное время остаются постоянными.

Однако имеется пиломатериалы, к которым предъявляются другие потребительские требования и которые должны обладать соответствующими потребительскими свойствами. В целях унификации еще в 70-е годы прошлого века А.М. Боровиковым предложено подразделять пиломатериалы на конструкционные брусья и доски (для изготовления деталей конструкционного назначения больших сечений, получаемых только путём поперечного раскроя пиломатериалов), столярные доски (для изготовления конструкционных деталей небольших сечений путём раскроя по ширине, толщине и длине) и

отделочные доски (для изготовления деталей декоративного и облицовочного назначения).

Ввиду того что в процессе раскроя круглых лесоматериалов получается всё разнообразие пиломатериалов с различными потребительскими свойствами было бы целесообразно объединить конструкционные брусья и доски, столярные доски и отделочные доски в стандарт общих технических условий. Если показатели потребительских свойств пиломатериалов, которые имеют количественное значение, то они нормируются соответствующими значениями (например, прочностные характеристики), если показатели потребительских свойств оцениваются не количественно, то целесообразно нормировать присутствие биологических признаков древесины (гнилей, заболонных грибных окрасок, червоточины) для показателя биостойкости и т.п.

При разделении пиломатериалов на сортовые группы также возможно принять предложения, сформулированные А.М. Боровиковым. Для отделочных и столярных предлагается по два сорта, для конструкционных досок и брусьев – семь по прочностным характеристикам и два по показателям целостности, биостойкости, правильности формы и внешнего вида. Нормативы для пиломатериалов различных сортовых групп устанавливаются исходя из свойств отечественных пиломатериалов и международного опыта разработки стандартов на правила сортирования пиломатериалов.

Разработка стандарта общих технических условий на пиломатериалы хвойных пород позволит организовать производство пилопродукции функционального назначения. Это новое перспективное направление развития процесса раскроя круглых лесоматериалов. При раскрое исключается существующий в настоящее время промежуточный этап производства пиломатериалов, полуфабрикатов для изготовления деталей из древесины. Это позволит максимально рационально использовать ресурсы древесины для всех отраслей промышленности.

В настоящее время проводится разработка отраслевой нормативно-технической документации на основе принципов производства пилопродукции функционального назначения. В Санкт-Петербурге Ассоциацией деревянного домостроения разработан проект управляющего стандарта по производству и применению пиломатериалов целевого назначения СтАДД 6.0.-2012 «Деревянные конструкции. Конструкционные пиломатериалы. Часть I. Общие требования». Стандарт устанавливает общие принципы, которыми необходимо руководствоваться при производстве и применении пиломатериалов в деревянном домостроении. Он распространяется на конструкционные пиломатериалы из массивной древесины прямоугольного сечения, рассортированные на классы прочности машинным или визуальным способом.

Стандарт позволяет предприятиям (членам ассоциации) с достаточной степенью надёжности определять характеристики пиломатериалов, как непосредственно используемых в строительстве, так и используемых для создания конструкционных изделий. Ассоциация продолжает работу по созданию стандартов, которые позволят детализировать требования к конструкционным материалам, применяемым в деревянном домостроении, а комплекс стандартов по конструкционным материалам позволит упорядочить процесс производства пиломатериалов, проектирования и изготовления строительных конструкций из этих пиломатериалов.

Разработка стандартов на продукцию различного функционального назначения создаст условия для появления в ближайшее время в нашей стране стандарта общих технических условий на пиломатериалы хвойных пород.

Библиографический список

1. Боровиков А.М. Качество пиломатериалов [Текст] / А.М. Боровиков. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. - 256 с.
2. Свиткин М.З. Контроль и управление качеством продукции в лесной и деревообрабатывающей промышленности [Текст] / М.З. Свиткин. – М.: Лесн. пром-сть, 1979. - 216 с.
3. Огурцов В.В. Принципы определения допусков при автоматической сортировке пиломатериалов по механическим свойствам / В.В. Огурцов // Изв. вузов. Лесн. журнал. – 1980, № 1. – С. 98-102.

Сведения об авторах

ФИО Бызов Виктор Евгеньевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail marana@inbox.ru

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail 910sav@gmail.com

Аннотация

В статье приведены основные положения, которые следует учитывать при разработке стандартов типа технических условий на пиломатериалы хвойных

пород. В статье приведены направления работы по созданию стандарта на пиломатериалы хвойных пород, учитывающие потребительские свойства продукции.

Ключевые слова: технические условия, хвойные породы, древесиноведение.

УДК 694.1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.07

К вопросу совершенствование подготовки резцов оцилиндровочных станков

Сергеевичев А.В., Бызов В.Е.

Режущий инструмент, осуществляя срезание стружек при резании, и сам подвергается износу под воздействием обрабатываемого материала. Износ, кроме прочих факторов, является результатом трения рабочих граней о стружку и обрабатываемую поверхность и сопровождается удалением части металла, уменьшением его массы и ухудшением режущей способности. Потеря массы инструмента в результате износа к моменту снятия его со станка из-за потери режущей способности ничтожна. Но именно вследствие износа этого малого объема и происходит в основном затупление инструмента. Это связано с тем, что активная часть режущего инструмента сосредоточена на очень малом участке (лезвии), находящемся в контакте со стружкой и поверхностью обработки изделия. Износ режущего инструмента всегда сопровождается потерей массы и изменением микрогеометрии режущей части (затуплением). Износ и затупление режущего инструмента сложный многофакторный процесс. На степень износа и характер затупления инструментов влияют: физико-механические свойства и структура материала режущих элементов; геометрические и угловые параметры режущих элементов; физико-механические свойства обрабатываемой древесины (порода, влажность, обрабатываемость и др.); условия и режим резания (вид резания, глубина резания и толщина стружки, скорость резания и подачи); условия и режим работы инструмента (точность, жесткость и колебания инструмента, состояние станка, продолжительность работы инструмента и др.); качество подготовки инструмента к работе (заточка и доводка режущих элементов) [1, 4].

Стойкость режущего инструмента – это время (T) между двумя переточками обеспеченной его работоспособности. Она характеризуется длительностью резания, количеством обработанного материала, путем резания, от начала резания острым инструментом до отказа его в работе. Отказ в работе инструмента определяется по критерию затупления, который выбирается с

учетом требований к качеству обработки. При оцилиндровки бревен резанием в качестве критерия затупления режущего инструмента могут быть приняты: шероховатость обработанной поверхности; предельно допустимые значения износа режущих элементов или силы (мощность) резания. Режущий инструмент снимается со станка для переточки или замены, когда продолжение его работы может привести к недопустимому нарушению установленных показателей обработки древесины.

При количестве переточек инструмента до его замены (n) произведение ($T \cdot n$), т.е. стойкости на количество переточек за весь срок службы инструмента, дает суммарную стойкость инструмента T_c . Микрогеометрию лезвия инструмента характеризуют в двух направлениях: в продольном (вдоль режущей кромки лезвия) и в поперечном (в плоскости перпендикулярной к режущей кромки лезвия). Продольная микрогеометрия связана с шероховатостью передней и задней поверхностей (граней) лезвия, а также с углом его заострения. Поперечная микрогеометрия лезвия и ее изменение при резании определяют характером его износа. Поперечная микрогеометрия лезвия определяющая. Она наиболее сильно влияет на качество поверхности обработки, силы и мощность резания. Микрогеометрию поперечного сечения затупленного лезвия можно характеризовать радиусом закругления режущей кромки лезвия (ρ), величиной укорочения лезвия (линейным износом) A_μ при равномерном изнашивании относительно биссектрисы угла заострения лезвия β . При обработке древесины резанием обычно изнашиваются одновременно задняя и передняя поверхности лезвия. При этом износ по задней поверхности больше, чем по передней. Переходный участок - режущая кромка лезвия очерчен, как правило, плавной кривой, обычно принимаемой за дугу окружности. В данном случае микрогеометрию поперечного сечения затупленного лезвия характеризуют следующими параметрами: радиусом закругления режущей кромки лезвия (ρ); линейным износом (A_μ); величиной фаски по задней поверхности (границы) (y_1). Интенсивность изнашивания лезвия инструмента определяется по изменению площади износа (F). Первоначальные углы лезвия (α , β , γ) при износе изменяются и принимают новые значения (α_3 , β_3 , γ_3). Так, передний (γ) и задний (α) углы, как правило, уменьшаются, а угол заострения (β) увеличивается. Соотношение между параметрами ρ ; x_1 ; y_1 ; A_μ в основном определяется режимами резания, геометрией инструмента, видом резания (направлением резания по отношению к волокнам древесины), физико-механическим свойствам древесины. При малых подачах с небольшой толщиной стружки, изнашивается преимущественно задняя поверхность лезвия. При больших подачах с большой толщиной стружки изнашиваются задняя и передняя поверхности лезвия. Между характеристикой профиля лезвия

(ρ) и величиной размерного износа ($A\mu$) по биссектрисе угла заострения (β) существует взаимосвязь:

$$\frac{\rho}{A\mu + \rho} = \sin \beta / 2 \quad (1)$$

отсюда радиус закругления режущей кромки лезвия

$$\rho = \frac{A\mu \cdot \sin \beta / 2}{1 - \sin \beta / 2} \quad (2)$$

а величина размерного износа лезвия по биссектрисе угла заострения

$$A\mu = \frac{\rho(1 - \sin \beta / 2)}{\sin \beta / 2} \quad (3)$$

Графическое изображение изнашивания инструмента в функции времени работы (t) называется кривой износа. Она может быть представлена в виде $\rho=f(t)$, $A\mu=f(t)$; $F=f(t)$. Скорость изнашивания соответственно равна:

$$V_\rho = \frac{d\rho}{dt}; \quad V_A = \frac{dA\mu}{dt}; \quad V_F = \frac{dF}{dt} \quad (4)$$

Наиболее интенсивно износ наблюдается в начальный период (t_H) – приработочный износ. Угол наклона (ϕ) характеризует интенсивность изнашивания инструмента за период нормального износа:

$$\phi = \arctg \frac{\Delta A\mu}{t_H} = \arctg \frac{A\mu(\text{пред}) - A\mu(n)}{t_H}, \quad (5)$$

где $A\mu(\text{пред})$ – предельный износ инструмента, мкм; $A\mu(n)$ - приработочный износ инструмента, мкм; t_H – период нормального (монотонного) износа.

При достижении предельного износа интенсивность износа далее резко возрастает и наступает период аварийного изнашивания (t_a). При достижении предельного износа $A\mu$ из-за увеличения контактных площадок (со стружкой и поверхностью обработки) резко повышается температура лезвия. Интенсивно растет скорость изнашивания. Резание в период (t_a) не рационально из-за того, что затупленный инструмент не обеспечивает требований к обработке материала по качественным, силовым и мощностным показателям. Целесообразно за величину предельного затупления инструмента принимать значение износа, при котором суммарная стойкость инструмента с учетом переточек (T_c) была бы максимальной. Износ, отвечающий этому требованию, является оптимальным износом ($A\mu(\text{опт})$), а период стойкости, соответствующий $A\mu(\text{опт})$, является оптимальным периодом стойкости инструмента $T_{\text{опт}}$. Анализ приработочного износа в период (t_H) показывает, что его определяют три основных фактора:

1. Микроприработка – процесс формирования режущей кромки лезвия под влиянием износа шероховатости и структуры переходной поверхности от передней поверхности (грани) лезвия к задней поверхности (грани). Это

своего рода структурная приспособляемость, или адаптация лезвия, т.е. приработка по зоне контакта с древесиной при стружкообразовании.

3. Макроприработка – процесс приращения линий или площадей контакта лезвия при его первоначальной неполноте. Этот процесс может вызываться неточным положением или формой контактирующих (трущихся) поверхностей при стружкообразовании. Этот процесс может происходить и независимо от наличия первичных ошибок в оформлении лезвия режущих элементов инструмента.
4. Самоорганизация – процесс перехода лезвия в стационарное напряженное и деформированное состояние, происходящий под влиянием изнашивания [2, 3].

Все отмеченные процессы представляют единый процесс самоорганизации стационарного состояния лезвия инструмента. Общее время ($t_{п}$) приработки может быть различно в зависимости от исходных характеристик режущей кромки лезвия, режима резания, материала режущего элемента инструмента. Исследования показывают, что параметры, характеризующие микрогеометрию приработочного износа дереворежущих инструментов, составляют в среднем 40-60% значений параметров предельного затупления (изнашивания). По длине пути резания (пути кромки лезвия в древесине при стружкообразовании) период приработки составляет 5-7% от общей длины пути резания до предельного производственного затупления инструмента. Для стальных ножей при оптимальных режимах заточки и доводки острота лезвия (ρ) может быть 5...6 мкм. При низком качестве заточки и доводки инструментов острота (ρ) превышает указанное значение в 2,0...2,5 раза. В этом случае и стойкость инструмента (T) так же снижается. При заточке и доводке ножей оснащенных твердым сплавом (например) ВК-15, при оптимальных режимах их острота (ρ), исключая аварийные изломы, достигают 12 мкм. Если бы удалось снизить время приработочного износа, то можно было бы увеличить ресурс инструмента (суммарный период стойкости инструмента $T_c = T \cdot n$). Для этого возможны несколько способов:

1. Обеспечение оптимального процесса заточки инструмента, обеспечивающего оптимальную шероховатость поверхностей (граней) лезвия и направленность следов абразивной обработки.
2. Выполнение доводки поверхностей (граней) лезвия, т.е. притирки для повышения точности прилегания по микроповерхности.
3. Придание лезвию формы естественного износа, т.е. устойчивой формы, которая возникает в данных условиях резания древесины.
4. Применение при заточке инструментов абразивных кругов с рациональной характеристикой с учетом материала инструмента и режима его работы.

5. Обеспечение необходимой точности работы заточных станков с достаточной жесткостью и виброустойчивостью.
6. Применение заточных станков с управляемым по программе циклом заточки и доводки инструментов.
7. Учет при заточке характеристики инструментальных материалов, реальной производственной и предельной при заточке остроты инструментов.

На основе рассмотренных ошибок и частных вопросов износа и затупления ножей, способов увеличения их стойкости, с учетом особенностей режущих инструментов – роторных позиционных оцилиндровочных станков, можно сделать следующие выводы:

1. Износ и затупление ножей сопровождается тремя фазами: приработочной, монотонной и аварийной. Удельный вес параметров приработочного износа достигает до 40-60% от предельного. Износ ножей выражается не только в истирании и удалении частиц поверхностного слоя контактных площадок. Он проявляется в результате трения, пластического деформирования и выкрашивания.
2. Для оценки износа и затупления ножей оцилиндровочных станков основными критериями можно рекомендовать радиус закругления режущей кромки лезвия, линейный износ по биссектрисе угла заострения и размер фаски по задней поверхности лезвия (границы). Радиус закругления режущей кромки лезвия первым из параметров износа и затупления достигает критических значений.
3. Для уменьшения периода приработочного износа ножей необходимо улучшить их качество заточки и доводки. Целесообразно при заточке режущим элементом (лезвием) ножей придавать форму естественного износа, т.е. устойчивую форму, конкретную для условий резания при оцилиндровке бревен. Полезно создание при заточке фаски на задней поверхности (границы) лезвия не 0,20...0,25 мм по ширине.

Библиографический список

4. Манжос Ф.М. Точность механической обработки древесины. М.: ГЛБИ, 1959. 262 с.
5. Маковский Н.В. и др. Теория и конструкция деревообрабатывающих машин. М.: Лесная промышленность, 1990. 605 с.
6. Пижурин А.А. Оптимизация технологических процессов деревообработки. М.: Лесная промышленность, 1975. 312 с.
7. Сергеевичев А.В. Повышение эффективности оцилиндровки бревен путем совершенствования механизма резания. Дис. На соиск. ученой степени канд. техн. наук: С.Петербург, 2002, 161 с.

Сведения об авторах

ФИО Бызов Виктор Евгеньевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации университет имени С.М. Кирова
194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код –
e-mail marana@inbox.ru

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail 910sav@gmail.com

Аннотация

Для уменьшения периода приработочного износа ножей необходимо улучшить их качество заточки и доводки. Целесообразно при заточке режущим элементам (лезвию) ножей придавать форму естественного износа, т.е. устойчивую форму, конкретную для условий резания при оцилиндровке бревен. Полезно создание при заточке фаски на задней поверхности (границы) лезвия не 0,20...0,25 мм по ширине.

Ключевые слова: режущий инструмент, механическая обработка древесины, оцилиндровочные станки.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Современные направления модернизации деревообрабатывающего оборудования

Сергеевичев А.В., Михайлова А.Е., Сергеевичев В.В.

Принятая стратегия рыночной экономики развития нашей страны вызвала неоднозначные, коренные количественные и качественные изменения в применяемом оборудовании в группах производств по первичной и вторичной обработке древесины. Текущая ситуация экономической обстановки на сегодняшний день вынуждает отказаться от применения импортного оборудования и ориентировать предприятия на использование отечественного. Для проведения импортозамещения необходима координация действий в области деревообрабатывающего машиностроения, специализированных проектно-конструкторских и научно-исследовательских организациях, а также

подготовки специалистов в учебных заведениях. Учитывая в долгосрочном периоде тот факт, что древесина является восстанавливаемым сырьем, продукция которого всегда будет востребована, как на внутреннем, так и на внешнем рынках, то к применяемому оборудованию предъявляются ряд технико-экономических и социальных характеристик. К важнейшим характеристикам относятся: производительность и стоимость машины, себестоимость и качество обработки, надежность, рентабельность, мобильность [1]. Эффективность использования, имеющегося или разрабатываемого отечественного оборудования, прежде всего, определяет вид производства (массовое, серийное, мелкосерийное, индивидуальное), а также характеристики оборудования с учетом современных тенденций его развития.

Из современных тенденций развития деревообрабатывающих машин можно выделить следующие: оснащение на базе микропроцессорной техники принципиально новыми системами программного управления, как станков общего назначения, так и специализированных; повышение степени концентрации обработки на базе создания обрабатывающих центров (ОЦ) и автоматических станочных линий (А.Л.); повышение комфортности и эстетичности.

Оснащение машин программным управлением способствует автоматизации вспомогательных настроечно-наладочных перемещений, функциональных механизмов станка и в перспективе позволяет создавать гибкие производственные системы (ГПС). Структурными компонентами ГПС являются: станки общего назначения с программным управлением, робототехнические устройства, автоматизированный межстаночный транспорт и склады, контрольно-измерительное оборудование, групповая система управления. Применение ГПС позволит увеличить производительность труда (Участка, цеха, предприятия) за счет сокращения числа рабочих, сокращает внецикловые потери времени, связанные с настройкой и наладкой станка, а также повышает качество продукции. Наибольшей эффективности таких систем следует ожидать, прежде всего, на мелкосерийных производствах по вторичной переработке древесины - мебельном, фанерном, деревянных музыкальных инструментов, спортивного инвентаря и других [2]. Доработка в этом направлении отечественного оборудования является перспективной.

Следует отметить, что применение станка с программным управлением в единичном варианте целесообразно только в тех случаях, где требуется перенастройка (единичное производство), а в серийных производствах ощутимого эффекта он не даст, так как его фактическая производительность практически не увеличивается. Время цикла на обработку одной детали станка

с программным управлением и обычного, имеющего механизированную подачу, при этом одинаково.

$$Q_{\phi} = \frac{1}{t_0 + t_{xx} + \sum t_{внп}}, \quad (1)$$

где: t_0 – время на обработку одной детали, с; t_{xx} – время на холостые движения в пределах цикла обработки, с; $t_{внп}$ – сумма потерь внециклового вспомогательного, в том числе и настроечно-наладочного времени в расчетах на одну деталь, с.

При недостаточности показателей надежности, таких как безотказность и ремонтпригодность, производительность такого станка может быть даже ниже вследствие потери работоспособного состояния. В этом случае, внецикловые потери времени ($t_{внп}$) возрастают за счет времени необходимого на обнаружение и устранение отказа. При отсутствии соответствующего технического обслуживания и квалифицированных специалистов эти потери могут быть достаточно ощутимыми.

При частой сменяемости и обширной номенклатуре изделий, особенно имеющих криволинейные и другие нестандартные формы, ощутимого эффекта следует ожидать от применения ОЦ. В таком оборудовании повышается степень концентрации обработки благодаря наличию системы программного управления и нескольких степеней подвижности исполнительного механизма, а также автоматической смены режущего инструмента. Выполнение комплекса операций на одной базе способствует сокращению времени на межоперационных переходах, экономии площади, повышению точности обработки.

Эффективность применения автоматических станочных линий (АЛ) доказана временем в группе производств по первичной обработке древесины – производство фанеры, ДСтП, ДВП, лесопиление, относящихся к массовым производствам.

Автоматические станочные линии (АЛ), гибкие производственные системы (ГПС), обрабатывающие центры (ОЦ) представляют собой дорогостоящие машинные комплексы, функционирующие на базе микропроцессорной техники. В этой связи, возникает проблема обеспечения надежности как на этапе их проектирования, так и на этапе эксплуатации. Для обеспечения надежности на этапе эксплуатации должна быть предусмотрена система технического диагностирования, которая дает возможность проверки правильности функционирования машинного комплекса, поиска нарушения работоспособности в целях предупреждения внезапных отказов, статистического прогнозирования технического состояния [3].

Выводы.

При выборе или разработке нового деревообрабатывающего оборудования определяющим фактором является вид производства и комплексный показатель технико-экономических характеристик станка.

Повышение производительности труда многономенклатурных (мелкосерийных) производств может быть достигнуто на базе доработки отечественного оборудования и оснащения его новыми системами программного управления с последующим созданием ГПС.

Для успешного решения поставленных настоящим временем задач необходимы инженерные кадры, владеющие системой знаний, относящихся к сфере исследования, проектирования и эксплуатации деревообрабатывающих машин.

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О. Анализ влияния параметров режущего инструмента и режимов резания на качественные и мощностные показатели в условиях оцилиндровки бревен. [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 219, 2017. – С. 193-206.
2. Сергеевичев В.В., Кузнецова Е.Г. Анализ напряженного состояния клеевых прослоек в комбинированной фанере. [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 206, 2014. – С. 138-145.
3. Онегин В.И., Чубинский А.Н. Деревообрабатывающая промышленность России: проблемы и перспективы развития. [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 168, 2002. – С. 10-15.

Сведения об авторах

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Михайлова Анна Евгеньевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail mikhailovaae@ya.ru

ФИО Сергеевичев Владимир Васильевич

Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	alexander910@yandex.ru

Аннотация

При выборе или разработке нового деревообрабатывающего оборудования определяющим фактором является вид производства и комплексный показатель технико-экономических характеристик станка.

Ключевые слова: режущий инструмент, механическая обработка древесины.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Повышения износостойкости подшипниковых узлов скольжения

Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.

Как известно, в машиностроении широко используются подшипники скольжения, имеющие в ряде случаев применения достоинства перед подшипниками качения. К ним можно отнести надежность работы в высокоскоростных приводах (подшипники качения в этих условиях имеют малую долговечность), способность воспринимать значительные ударные и вибрационные нагрузки вследствие больших размеров рабочих поверхностей и высокой демпфирующей способности масляного слоя, бесшумность работы, сравнительно малые радиальные размеры, простота конструкции. Однако подшипниковые узлы скольжения требуют постоянного надзора из-за высоких требований к наличию смазочного материала и опасности перегрева, имеют значительные потери на трение в период пуска и при несовершенной смазке, а также большой расход смазочного материала и необходимость его очистки и охлаждения. Работа подшипников скольжения сопровождается абразивным изнашиванием вкладышей и цапф, заеданием и усталостным выкрашиванием. Абразивное изнашивание возникает вследствие попадания со смазочным материалом абразивных частиц и неизбежного режима граничной смазки при пуске и останове [1]. Заедание возникает вследствие разрыва масляной пленки, например, из-за повышенных местных давлений и температур, сопровождается металлическим контактом и образованием под действием молекулярных сил мостиков микросварки, которые, разрушаясь, приводят к глубинному

вырыванию материала. Усталостное выкрашивание поверхности вкладышей происходит при пульсирующих нагрузках. Все эти перечисленные факторы приводят к необходимости поиска новых антифрикционных материалов для изготовления подшипниковых деталей.

Целью работы являлось выявить возможность применения слоистых пластиков для замены цилиндрических втулок подшипников скольжения из традиционных материалов.

Основным методом исследования был сравнительный анализ физико-механических и эксплуатационных характеристик ряда слоистых пластиков, из которых возможно изготовление втулок подшипников скольжения. Для сравнения рассматривались: слоистый пластик, содержащий пропитанные фторопластом слои древесного шпона; пластик, выполненный из чередующихся слоев текстолита и гетинакса на основе фенолформальдегидного связующего; пластик на основе листов хлопчатобумажной ткани, пропитанный полимерным связующим и лаком, наполненным фторопластом; пластик, сформированный из слоев хлопчатобумажной ткани, пропитанной связующим из фенолформальдегидной смолы и фенолбутирального лака, наполненного фторопластом и содержащим между слоями ткани, пропитанные связующим листы бумаги [2].

Перечисленные слоистые пластики испытывались на прочность при сжатии; на ударную вязкость; на линейный износ вдоль и поперек волокон. Исследования на абразивный износ материалов образцов пластиков проводились на машине трения APGI на образцах с размерами 12x12x15 мм при нагрузке 0,067 Н/мм². Испытание проводилось водостойкой шлифовальной шкуркой зернистостью 25 по длине пути образца по шкурке 40м. Результаты опытов считаются достоверными, если сравнительный абразивный износ образцов-эталонов не превышает 5%. Величину контактного износа поверхности образцов при этом определяют весовым методом с точностью до 0,2 мг с последующим пересчетом на линейный износ. Кроме того, определялся коэффициент трения скольжения образцов.

Проведенные исследования показали [3], что наименьшим абразивным износом обладает пластик, сформированный из слоев хлопчатобумажной ткани, пропитанной связующим из фенолформальдегидной смолы и фенолбутирального лака, наполненного фторопластом и содержащим между слоями ткани, пропитанные связующим листы бумаги. Этот пластик имеет в 2,6-5,3 раза меньший абразивный износ, что очень важно при использовании его в подшипниковых узлах. Кроме того, проведены исследования по определению оптимального соотношения слоев ткани и бумаги в составе данного пластика. Это соотношение составило 2 листа бумаги на 10 листов

ткани, что позволило достичь максимального предела прочности при сжатии – 191 Н/мм².

Исследуемый пластик имеет следующие физико-химические и эксплуатационные характеристики:

- плотность, кг/м³ – 1360 – 1420;
- предел прочности при сжатии вдоль слоев ткани, МПа – 185 – 198;
- ударная вязкость, нмм/мм² – 3,0 – 3,3;
- водопоглощение за 24 ч при 20°С, % по массе – 0,12 – 0,15;
- линейный абразивный износ: 0,16 – 0,29мм;
- коэффициент трения скольжения – 0,15 – 0,18.

Таким образом, использование предлагаемого слоистого пластика в качестве втулок подшипников скольжения приведет к росту срока службы подшипниковых узлов в среднем в 3-4 раза.

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В. Анализ нагрева шлифовальных лент при обработке древесины и древесных материалов. [Текст] // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 217, 2016. – С. 206-219.
2. Чубинский А.Н. Состояние и перспективы развития клееных слоистых материалов из шпона. [Текст] // Лесной Вестник. № 1, 2000. – С. 182-183.
3. Авторское свидетельство № 774220. Слоистый пластик/ Мовнин М.С., Модин Н.А., Мурзич Р.М., Мурзич В.Я., Сергеевичев В.В. Оpubл. 27.06.80. Патентообладатель: СПбГЛТА.

Сведения об авторах

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail alexander910@yandex.ru

Аннотация

В статье выявлена возможность применения слоистых пластиков для замены цилиндрических втулок подшипников скольжения из традиционных материалов.

Ключевые слова: слоистый пластик, втулки подшипников скольжения.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Исследование виброустойчивости деревообрабатывающего оборудования

Сергеевичев А.В.

Одним из важных показателей работы деревообрабатывающего оборудования является его виброустойчивость, которая определяется жесткостью системы – машина и ее фундамент. Основная причина вибраций: действие периодических сил от технологических нагрузок, возвратно-поступательные движения масс функциональных механизмов, дисбаланс вращающихся частей механизмов.

Задачей расчета на виброустойчивость является устранение опасных колебательных состояний – резонансов, т.е. резкого увеличения амплитуды колебаний при совпадении частот собственных колебаний с частотой изменения внешних сил. Простейшая колебательная система с одной степенью свободы, приведена на рис. 1.

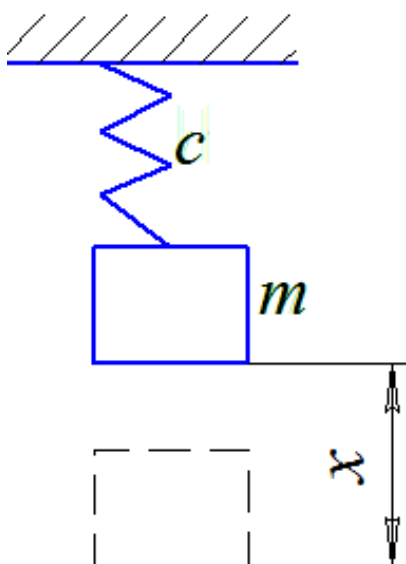


Рис. 1. Колебательная упругая система с одной степенью свободы

При отклонении массы m от положения равновесия упругий элемент создает восстанавливающую силу. В линейной системе масса m постоянна, а восстанавливающая сила Q пропорциональна деформации X упругого элемента:

$$Q = -C \cdot x = -\frac{1}{e} \cdot x, H, \quad (1)$$

т.е. упругий элемент линейной системы имеет постоянную жесткость C (Н/мм) и податливость e (мм/Н).

Движение массы m при отсутствии рассеяния энергии (затухания) представляет гармоническое колебание

$$x = x_0 \cdot \cos \omega_0 t + \frac{V_0}{\omega_0} \sin \omega_0 t = a \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi), \quad (2)$$

где x_0 – начальное перемещение, мм; V_0 – начальная скорость, мм/с; ω_0 – угловая частота собственных колебаний, с⁻¹; φ – фазовый угол в радианах, определяемый начальными условиями движения; a – амплитуда свободных колебаний, мм.

Энергия при колебаниях переходит из потенциальной в кинетическую и наоборот. При амплитудном отклонении от положения равновесия скорость системы и ее кинетическая энергия равны нулю. Запас потенциальной энергии составляет:

$$P_{max} = \frac{C \cdot a^2}{2}, \text{ Дж}, \quad (3)$$

при условии, что:

$$\text{кинетическая энергия:} \quad E_k = \frac{m \cdot V^2}{2}, \text{ Дж}; \quad (4)$$

$$\text{потенциальная энергия:} \quad E_{\pi} = m \cdot g \cdot h, \text{ Дж}. \quad (5)$$

При прохождении положения равновесия потенциальная энергия равна нулю, скорость равна $V = \omega_0 \cdot a$, $\frac{\text{мм}}{\text{с}}$, запас кинетической энергии составляет:

$$T_{max} = \frac{m \cdot \omega_0^2 \cdot a^2}{2}, \text{ Дж}. \quad (6)$$

При свободных колебаниях без рассеивания энергии или подвода ее со стороны $P_{max} = T_{max}$ или:

$$\frac{C \cdot a^2}{2} = \frac{m \cdot \omega_0^2 \cdot a^2}{2}, \quad (7)$$

Из выражения (7) получим формулу для определения частоты собственных колебаний:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{m}}, \text{ с}^{-1}. \quad (8)$$

В этом состоит основа энергетического метода определения частот собственных колебаний.

Вынужденные колебания. Движение массы m (рис. 1) под действием внешней силы, изменяющейся по периодическому закону $Q \cdot \sin \omega t$, выражается формулой:

$$x = A_0 \cdot e^{-\alpha \cdot t} \cdot \sin(\omega_r \cdot t + \varphi) + A \cdot \sin(\omega t - \varphi), \quad (9)$$

где ω_r – частота собственных колебаний с затуханием, c^{-1} ; A_0 – начальная амплитуда, мм, и φ – фазовый угол, рад затухающих свободных колебаний, которые определяются начальными условиями движения; A – амплитуда вынужденных колебаний, мм; ω – частота вынужденных колебаний, c^{-1} .

Первый член формулы (9) представляет затухающие свободные колебания (рис. 2).

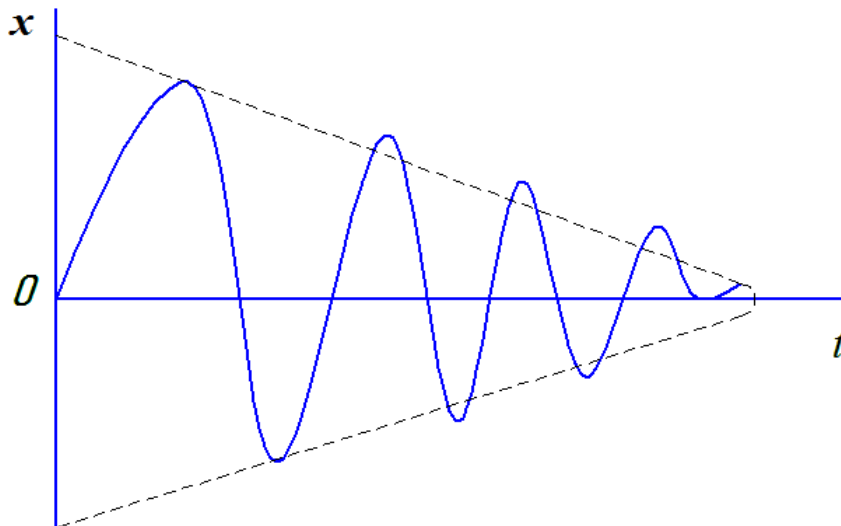


Рис. 2. Затухающие колебания

Угловая частота собственных колебаний с затуханием равна:

$$\omega_r = \sqrt{\omega_0^2 - \alpha^2}, c^{-1}, \quad (10)$$

где α – частота затухающих свободных колебаний, c^{-1} .

$$\alpha = \frac{S}{2 \cdot m}, \quad (11)$$

где S – сила сопротивления, отнесенная к единице скорости, $H \cdot c / мм$.

При очень большом затухании $\alpha \geq \omega_0$ движение теряет колебательный характер и становится аperiодическим.

Второй член формулы (9) представляет вынужденные колебания, имеющие частоту внешней силы, тогда как свободные колебания вследствие наличия затухания (сопротивления) быстро исчезают. При рассмотрении длительных колебаний принимается во внимание лишь второй член.

Амплитуда вынужденных колебаний определяется по формуле [1]:

$$A = \frac{A_0}{\sqrt{[1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2]^2 + \beta^2 \cdot (\frac{\omega}{\omega_0})^2}} = \mu \cdot A_0, мм, \quad (12)$$

где μ – коэффициент динамичности, или коэффициент динамического усиления; A_0 – перемещение от статической силы, равной амплитуде гармонической силе Q , т.е $A_0 = \frac{Q}{c}$, мм; ω – угловая частота вынужденных

колебаний, c^{-1} ; ω_0 – угловая частота собственных колебаний, c^{-1} , $\omega_0 = \sqrt{\frac{c}{m}}$, c^{-1} ; β – коэффициент демпфирования или коэффициент сопротивления.

На рис. 3 представлены резонансные кривые, т.е. зависимость μ от $\frac{\omega}{\omega_0}$ для различных значений β . Чем меньше β , тем сильнее проявляется резонанс, т.е. резкое возрастание амплитуд вынужденных колебаний при определенных частотах, которые близки к частотам собственных колебаний. Вблизи от резонанса величину вынужденных колебаний ограничивает лишь затухание системы. Вдали от резонанса величина затухания почти не оказывает влияния на амплитуду колебаний.

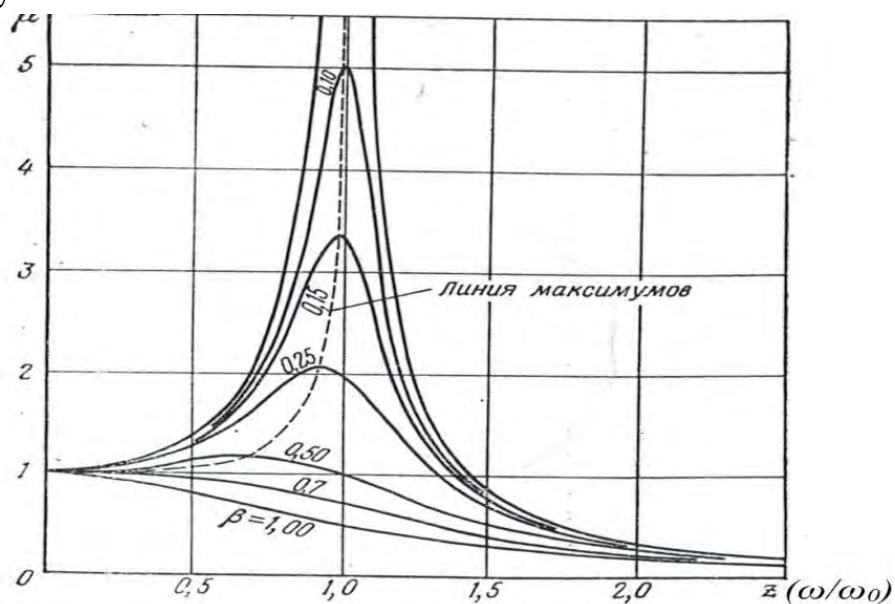


Рис. 3. Зависимость коэффициента динамического усиления μ от отношения частоты возбуждения к собственной частоте

Основным средством повышения виброустойчивости деревообрабатывающего оборудования, т.е. уменьшение амплитуд колебаний, является «частотная настройка» системы машина и ее фундамент. Ослабление вибраций при этом достигается путем изменения масс (применительно к индивидуальным фундаментам – определение его высоты), жесткостей и условий возбуждения. При изменении параметров системы, попавшей в резонанс, изменяется ее частота собственных колебаний, и система выводится из резонанса. Аналогичные результаты получаются при изменении частоты возбуждения, например, путем изменения рабочей частоты вращения механизма, если частота возбуждения с ней связана. Уменьшение колебаний может быть так же получено уменьшением или устранением возбуждающих сил. Так, например, тщательная балансировка приводит к уменьшению возбуждения, создаваемого вращающимися неуравновешенными массами. Уменьшение амплитуд резонансных колебаний достигается также введением

значительного демпфирования, т.е. необходимо стремиться к тому, чтобы коэффициент демпфирования β или коэффициент динамичности $\mu \leq 1$.

Демпферы и антивибраторы необходимо устанавливать в точках системы, имеющих наибольшие амплитуды колебаний, или в точках, в которых помещение демпфера изолирует систему от действия возбуждающих сил.

Применительно к индивидуальным фундаментам деревообрабатывающего оборудования, при определении его размеров, необходимо определять высоту фундамента X из условия того, чтобы коэффициент динамичности μ не превышал единицы для всех частот вынужденных колебаний, передаваемых от станка фундаменту. Сопротивление грунта можно схематизировать как реакцию упругих сил F и вязких R , вызванных внутренними силами сопротивления (рис. 4).

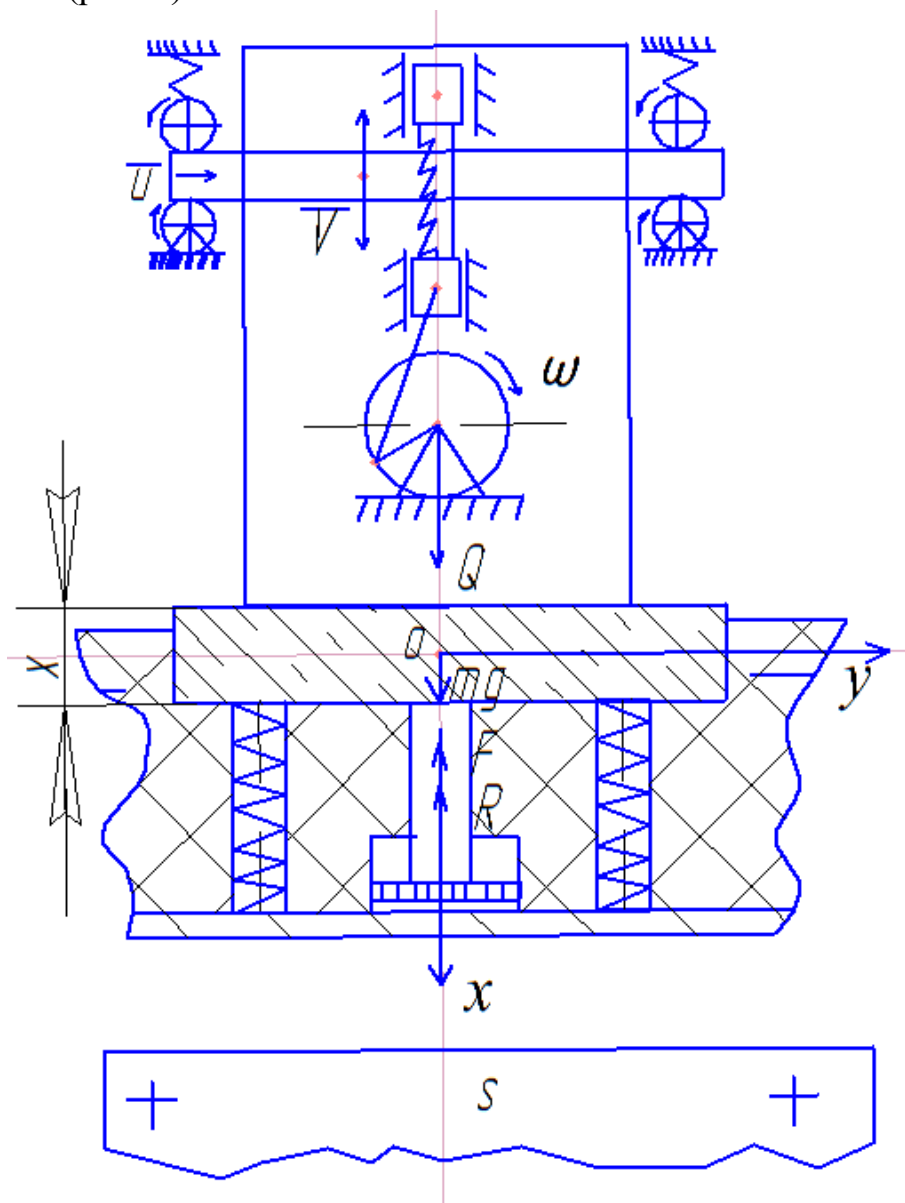


Рис. 4. Схема сил сопротивления грунта

Внутренние силы сопротивления характеризуются коэффициентом упругого равномерного сжатия (коэффициентом жесткости) – $C, \frac{H}{M^3}$ и вязкости $b, \frac{H \cdot c}{M^3}$.

Масса фундамента определяется его размерами и плотностью материала фундамента:

$$m = X \cdot S \cdot \rho, \text{ кг}, \quad (13)$$

где X – высота фундамента, м; S – площадь основания фундамента, M^2 ; ρ – плотность материала фундамента, $H \cdot \frac{c^2}{M^4} (\frac{кг}{M^3})$.

Введем систему координат XOY , выбрав ее начало в точке O , в положении равновесия центра тяжести фундамента и представим проекцию вынуждающей силы Q на ось x в виде:

$$Q_x = H \cdot \sin \omega t \quad (14)$$

где H – амплитуда возмущающей силы, мм; ω – частота возмущающей силы, c^{-1} .

Тогда уравнение движения (фундамента) имеет вид:

$$mW = F + R + Q + m \cdot q, \quad (15)$$

где W – ускорение системы станок-фундамент, м/с.

В проекции на ось x дает:

$$X \cdot S \cdot \rho \cdot \ddot{x} = -c \cdot S \cdot (x + \lambda_0) - b \cdot S \cdot \dot{x} + X \cdot S \cdot \rho \cdot q + H \cdot \sin \omega t \quad (16)$$

Здесь $F_x = -c \cdot S \cdot (x + \lambda_0)$, $R_x = -b \cdot S \cdot \dot{x}$, где λ_0 – статическая осадка фундамента.

Приведем уравнение движения (16) к нормальному виду. Для этого разделим левую и правую часть на $X \cdot S \cdot \rho$ и воспользуемся равенством

$$X \cdot S \cdot \rho \cdot q = c \cdot \lambda_0: \quad (17)$$

$$\ddot{x} + \frac{b}{X \cdot \rho} \cdot \dot{x} + \frac{c}{X \cdot \rho} = \frac{H}{X \cdot S \cdot \rho} \cdot \sin \omega t$$

Положив $\frac{b}{X \cdot \rho} = 2h, \frac{c}{X \cdot \rho} = K^2$, получим выражение для определения безразмерного коэффициента вязкости β (рис. 3)

$$\beta = \frac{h}{K} = \frac{b}{2 \cdot \sqrt{X \cdot \rho \cdot c}} \quad (18)$$

Коэффициент динамичности μ при всех частотах ω не будет превосходить единицы, если потребовать, чтобы кривая $\mu(z)$ не имела максимума при исследовании на экстремум функции $y = (1 - (\frac{\omega}{\omega_0})^2)^2 + \beta^2 \cdot (\frac{\omega}{\omega_0})^2$, уравнения (12), т.е.

$$\frac{dy}{dt} = 2(1 - z^2) \cdot (-2z) + 4\beta^2 \cdot z = 0, \quad z = \frac{\omega}{\omega_0} \quad (19)$$

Корнями этого уравнения будут

$$z_1 = 0; \quad z_2 = \sqrt{1 - 2\beta^2}; \quad z_3 = -\sqrt{1 - 2\beta^2} \quad (20)$$

Кривая $\mu(z)$ (рис. 3) не будет иметь максимума при $z_2 = \sqrt{1 - 2\beta^2}$. Следовательно, должно выполняться неравенство

$$\beta \geq \frac{\sqrt{2}}{2}, \quad \text{или} \quad \frac{b}{2\sqrt{X \cdot \rho \cdot c}} \geq \frac{\sqrt{2}}{2}. \quad (21)$$

Из этого неравенства получим высоту X фундамента, обеспечивающую виброустойчивость системы станок-фундамент.

$$X \leq \frac{b^2}{2 \cdot \rho \cdot c} \quad (22)$$

Выводы.

Основным средством повышения виброустойчивости деревообрабатывающего оборудования, т.е. уменьшение амплитуд колебаний оборудования, является «частотная отстройка» системы станок-фундамент.

Уменьшение колебаний может быть также получено уменьшением или устранением возбуждающих сил. Например, тщательная балансировка приводит к уменьшению возбуждения, создаваемого вращающимися неуравновешенными массами.

Уменьшение амплитуд резонансных колебаний (вибраций) достигается введением демпфирующих устройств с сухим и вязким трением, а также динамического типа с коэффициентом демпфирования β близким к единице и устранением возбуждающих сил.

Библиографический список

1. Бутенин Н.В. и др., Теоретическая механика. Том 2. М.: «Наука», 2005, 324 с.

Сведения об авторах

ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

Основным средством повышения виброустойчивости деревообрабатывающего оборудования, т.е. уменьшение амплитуд колебаний оборудования, является «частотная отстройка» системы станок-фундамент.

Ключевые слова: виброустойчивость, фундамент деревообрабатывающее оборудование.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Моделирование механизма резания роторного станка для оцилиндровки бревен

Сергеевичев А.В.

Механизм резания оцилиндровочного роторного позиционного станка включает (рис. 1): электродвигатель (1), ведущий шкив (2), ведомый шкив (3), ременную передачу (4), ротор с режущими инструментами (5).

Двигатель с ротором соединён клиноременной передачей (гибкий элемент системы). При анализе динамики привода представляет интерес два вопроса: как сказывается гибкое звено (ременная передача) на характер движения механизма резания при пуске, торможении, в режиме обработки резанием, а также на свойства электропривода. В процесс обработки бревна резанием механизм резания (привод) передаёт и воспринимает наибольшие нагрузки в сравнении с другими механизмами. Нагружение механизма резания в значительной мере определяет работоспособность и надежность станка в целом [1].

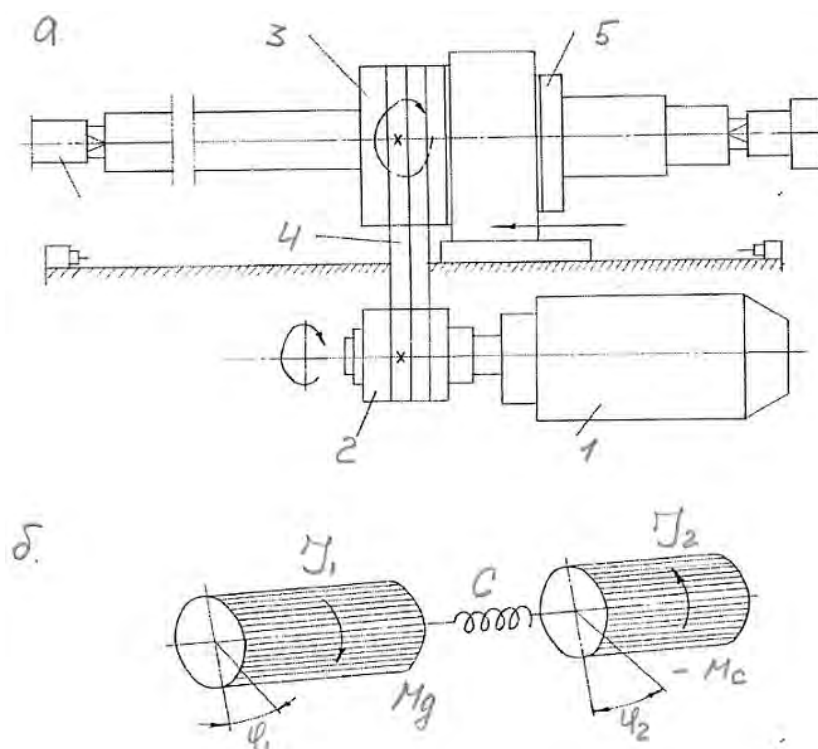


Рис. 1. Кинематическая (а) и приведенная (б) двухмассовая схемы привода механизма резания позиционного оцилиндровочного станка

Оценка динамических нагрузок при проектировании оцилиндровочных станков необходима при оптимизации параметров механизма резания для минимизации или ограничения нагрузок в упругих связях, а также для прогнозирования надежности и долговечности работы. В механизме резания имеется два рабочих вала: вал двигателя с ведущим шкивом и вал ротора с ведомым шкивом и набором режущих инструментов. Поэтому при анализе переходных процессов в нём основное внимание уделяется нагрузке в гибком звене и крутильным колебаниям в периодических режимах [1].

Основным источником возбуждения крутильных колебаний в приводе ротора оцилиндровочного станка является переменный момент от сил резания, биения вала ротора и изменение сил резания в зонах природных пороков древесины (сучков и др.). Для того, чтобы рассчитать механизм резания с оценкой динамических процессов современными теоретическими методами, необходимо составить уравнение движения всех его частей. Решая эти уравнения совместно, можно найти пути, скорости и ускорения элементов механизма, а также усилия, действующие в механизме. Одним из более простых способов, который даёт возможность решать динамические задачи, является метод преобразования механизмов. Этот метод состоит в замене действительного механизма упрощенным, эквивалентным рассчитываемому. Этот новый механизм должен быть выбран так, чтобы динамические явления в нём приводили к тем же результатам, которые имеются в реальном механизме, т.е. чтобы детали нового механизма перемещались бы с теми же скоростями, что и в исходном механизме, и чтобы возникали те же усилия. Замена одного механизма другим (преобразованным) производится так, чтобы:

- кинетическая энергия частей нового механизма оставалась равной кинетической энергии частей исходного механизма;
- потенциальная энергия деформированных деталей так же оставалась неизменной; из этого условия выбирается жесткость среднего звена (“пружины”).

Если по схеме (рис. 1, а) осуществить приведение моментов и маховых масс к скорости вращения двигателя, то механический блок можно упрощенно представить состоящим из трёх элементов: ротора электродвигателя с ведущим шкивом, ременной передачи (гибкого звена), ротора с ведомым шкивом и режущими инструментами. На основании этого эквивалентная приведённая расчётная схема механизма резания (привода) оцилиндровочного станка может быть представлена в виде двухмассовой схемы (рис. 1, б). Приведённая схема механизма состоит из двух масс, соединённых упругим звеном. Использование такого метода приведения, как показывают исследования динамики приводных

упругих систем и динамических нагрузок механизмов, не вносят существенных ошибок [2].

В соответствии со схемой (рис. 1, б) введём обозначения:

I_1 – приведённый момент инерции массы ротора двигателя и ведущего шкива на его валу; I_2 – приведённый к валу двигателя момент инерции массы ротора и ведомого шкива; C – приведённая крутильная жесткость вала двигателя, передачи и вала ротора; M_δ – приведённый крутящий момент двигателя; M_c – приведённый момент сопротивления (статический момент полезного сопротивления, преодолеваемый приводной системой); $\phi_1; \phi_2$ – угловые координаты ведущей и ведомой масс.

Для составления уравнений движения масс приведённой схемы воспользуемся уравнением Лагранжа 2-го рода, которое для рассматриваемой нами задачи будет иметь вид:

$$\frac{d}{dt} \cdot \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} \right) + \frac{\partial \Pi}{\partial \phi} = Q \quad (1)$$

где $T; \Pi$ – кинетическая и потенциальная энергия системы; $\dot{\phi}; \phi$ – обобщенные скорость и координата; Q – внешняя нагрузка; t – время.

Кинетическая энергия системы:

$$\text{Кинетическая энергия системы} \quad T = \frac{I_1}{2} \left(\frac{d\phi_1}{dt} \right)^2 + \frac{I_2}{2} \left(\frac{d\phi_2}{dt} \right)^2. \quad (2)$$

$$\text{Потенциальная энергия системы:} \quad \Pi = \frac{(\phi_1 - \phi_2)^2 \cdot C}{2}. \quad (3)$$

Внешняя нагрузка (Q), действующая на массу (J_1) равна (M_δ), на массу (I_2) равна ($-M_c$) т.е. статической нагрузке, которая должна быть взята со знаком минус. Дифференцируя (T) поочередно по $\frac{d\phi_1}{dt}$ и $\frac{d\phi_2}{dt}$ и затем по (t), а так же (Π) соответственно по ϕ_1 и ϕ_2 и учитывая внешние нагрузки, получим уравнения движения обеих масс системы в виде:

$$\begin{aligned} I_1 \cdot \frac{d^2\phi_1}{dt^2} + (\phi_1 - \phi_2) \cdot C &= M_\delta \\ I_2 \cdot \frac{d^2\phi_2}{dt^2} - (\phi_1 - \phi_2) \cdot C &= -M_c \end{aligned} \quad (4)$$

Отсюда для вала нагрузки (ротора) имеем:

$$\frac{I_1 \cdot I_2}{C} \cdot \frac{d^4\phi_2}{dt^4} + (I_1 + I_2) \cdot \frac{d^2\phi_2}{dt^2} = M_\delta - M_c \quad (5)$$

и для вала двигателя:

$$\frac{I_1 \cdot I_2}{C} \cdot \frac{d^4\phi_1}{dt^4} + (I_1 + I_2) \cdot \frac{d^2\phi_1}{dt^2} = M_\delta - M_c + \frac{I_2}{C} \cdot \frac{d^2M_\delta}{dt^2}. \quad (6)$$

При определении динамических усилий и моментов в механизме резания необходимо учитывать наличие или отсутствие внешней (рабочей) нагрузки (статического момента). Уравнения (4) предполагают, что статический момент постоянен (т.е. $M_c = const$) и система в начальный момент нагружена (ротор обеспечивает оцилиндровку бревна резанием).

Выводы.

1. При оценке динамических явлений в механизме резания (в приводе) оцилиндровочных станков следует учитывать действительные характеристики двигателя. Наличие сравнительно небольших масс в роторной группе оцилиндровочных позиционных станков позволяет в приводе широко использовать асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором.
2. Основным источником возбуждения крутильных колебаний в приводе ротора оцилиндровочного станка является переменный момент от сил резания, биения вала ротора и изменение силовых нагрузок в зонах обработки бревна.
3. Анализ динамики привода (механизма резания) оцилиндровочного позиционного роторного станка показывает, что чем больше ведомая масса роторной группы в станке, тем больше нагрузка в системе передачи (в гибком звене). В худшем случае механизм привода при холостом пуске может испытывать нагрузку, в несколько раз превышающую нагрузки при установившемся движении в нагруженном состоянии.

Библиографический список

1. Санев В.И., Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. Резание древесины и древесных материалов. СПб.: «Лань», 2018. 456с.
2. Орликов М.А. Динамика станков. Киев: Высшая школа, 1980. 256 с.

Сведения об авторах

ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

Оценка динамических нагрузок при проектировании оцилиндровочных станков необходима при оптимизации параметров механизма резания для

минимизации или ограничения нагрузок в упругих связях, а также для прогнозирования надежности и долговечности работы.

Ключевые слова: динамические нагрузки, оптимизация механизма резания.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

К вопросу получения радиальных пиломатериалов с учетом особенностей строения древесного ствола

Сергеевичев А.В.

Введение

Несмотря на широкое применение отдельных способов получения радиальных пиломатериалов, не имеет четкой аргументации до сих пор как правильно учитывать смещение сердцевины при составлении, так как недостаточно изучено ее расположение внутри ствола дерева.

При составлении поставов с высоким выходом радиальных пиломатериалов условно принимается что центр годичных колец совпадает с геометрической осью хлыста, либо если имеется эксцентricность сердцевины, то смещение располагается равномерно вдоль оси хлыста на одну сторону. В связи с этим, при расчетах планируют выпиливать относительно сердцевины на вершинном срезе бревна центральные, либо сердцевинную доски с общей шириной до 30 мм. А из оставшихся сегментов получать требуемые доски.

Несмотря на все это в результате все равно получается, что в спецификационных досках, расположенных близко к центру бревна, появляется сердцевина, что по определению делает эти пиломатериалы нерадиальными. Это свидетельствует о том, что должны быть разработаны научные основы, отражающие качественные стороны процесса получения радиальных пиломатериалов, построенные на объективном понимании свойств исходных материалов.

Выход радиальных пиломатериалов зависит от заполнения поставом области получения радиальных пиломатериалов, которая базируется относительно центра годичных колец – сердцевины. В природе очень редко встречаются случаи, когда сердцевина совпадает с геометрической осевой линией бревна. По всей длине хлыста расхождение уменьшается ближе к вершине. Однако для выработки пиломатериалов используется как раз комлевая и срединная часть ствола, где расхождение максимально. Изменение местоположения сердцевины влечет за собой изменение размеров зон получения радиальных пиломатериалов.

На основании теоретического анализа было установлено предположение о сложном характере расположения сердцевины внутри ствола дерева от комля к вершине. Поэтому было предложено установить зависимость смещения сердцевины относительно геометрической оси хлыста от основных параметров древесного ствола: диаметром, коэффициентом овальности, расстоянием от комлевого среза исходного хлыста. Применение этих показателей легко осуществимо в производстве.

Из-за сложности описания структуры более целесообразно выделять центральную зону бревна, содержащую сердцевину и окружающую ее ювенальную древесину, нежели определять местоположение центра годичных колец для каждого отдельного ствола древесного ствола. Границы этой зоны должна определяться в виде окружности относительно геометрического центра на поперечном срезе бревна, что следует принимать во внимание при составлении поставок для раскроя круглых сортиментов на радиальные пиломатериалы.

Для проведения исследований была выбрана порода – сосна, произрастающая в Приангарье, т.к. широко применяется в качестве сырья для получения пиломатериалов и имеет большое распространение на территории Восточной Сибири. Выбор данной породы также обусловлен особенностью ее строения. На поперечном срезе древесного ствола легко определяется сердцевина.

В исследованиях [1] использовались следующие сортименты: хлысты, пиловочник. Стандартные требования к хлыстам по ТУ 13-0273685-408-92. Стандартные требования к пиловочнику по ГОСТ 9463-88. Измерение диаметров поперечных срезов хлыстов и пиловочных сортиментов осуществлялось по ГОСТ 2292-88 «Лесоматериалы круглые. Маркировка, сортировка, транспортирование, методы измерений и приемка». Величина смещения сердцевины определялось согласно ГОСТ 2140-81 «Пороки древесины. Классификация, термины и определения, способы измерения».

Заключение.

Исходя из полученных результатов, можно утверждать, что сердцевина есть сложная пространственная кривая (рис.1), образующаяся под воздействием большого количества внешних и внутренних факторов, влияющих на рост дерева, взаимосвязанная с другими пороками строения древесины и сучками.

На основании полученных данных была построена математическая модель, при помощи которой можно правильно прогнозировать расположение сердцевины в стволе и исключать ее попадание в спецификационную пилопродукцию в процессе производства пиломатериалов.

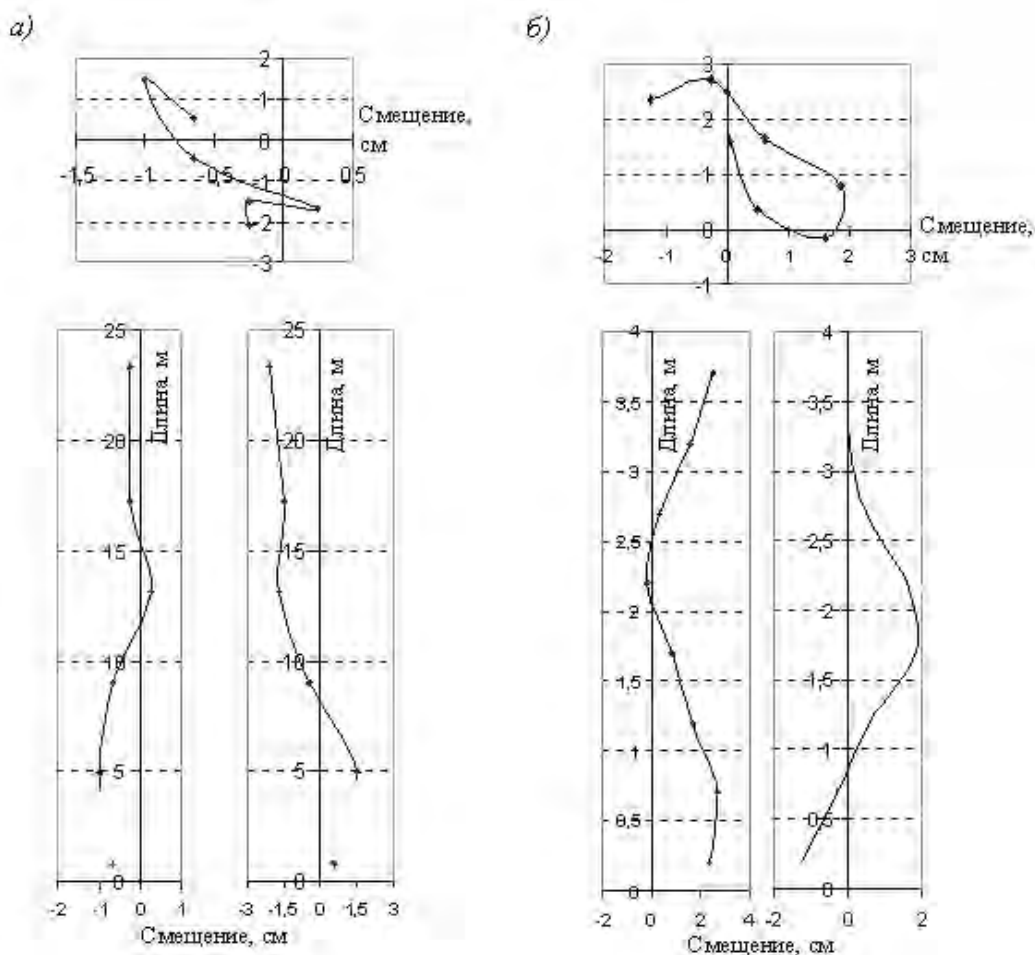


Рис. 1. Сердцевина в древесном стволе, спроецированная на перпендикулярные между собой плоскости

Библиографический список

- Черных А.Г., Черных П.П. Теоретические исследования длины укорачиваемых досок с заданным наклоном волокон, получаемых из сбеговой зоны бревна/ Труды Братского государственного технического университета. – Братск: БрГТУ, 2000. – 204 с.

Сведения об авторах

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail 910sav@gmail.com

Аннотация

В статье показано, что сердцевина есть сложная пространственная кривая, образующаяся под воздействием большого количества внешних и внутренних

факторов, влияющих на рост дерева, взаимосвязанная с другими пороками строения древесины и сучками.

Ключевые слова: радиальные пиломатериалы.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Точение как метод оцилиндровки бревен

Сергеевичев А.В.

Введение

Точение – процесс обработки древесины резанием, при котором из заготовки получается тело вращения по заранее заданному профилю [1]. При точении срезается винтовая или спиральная непрерывная стружка.

В настоящее время, в основном, применяют следующие приемы точения:

1. Осевое точение, при котором вершина режущего лезвия резца находится на уровне зажимов, а резец во время точения перемещается вдоль оси вращения детали. Принципиальная схема осевого точения древесины с указанием основных геометрических параметров и описанная в работе [2] представлена на рис.

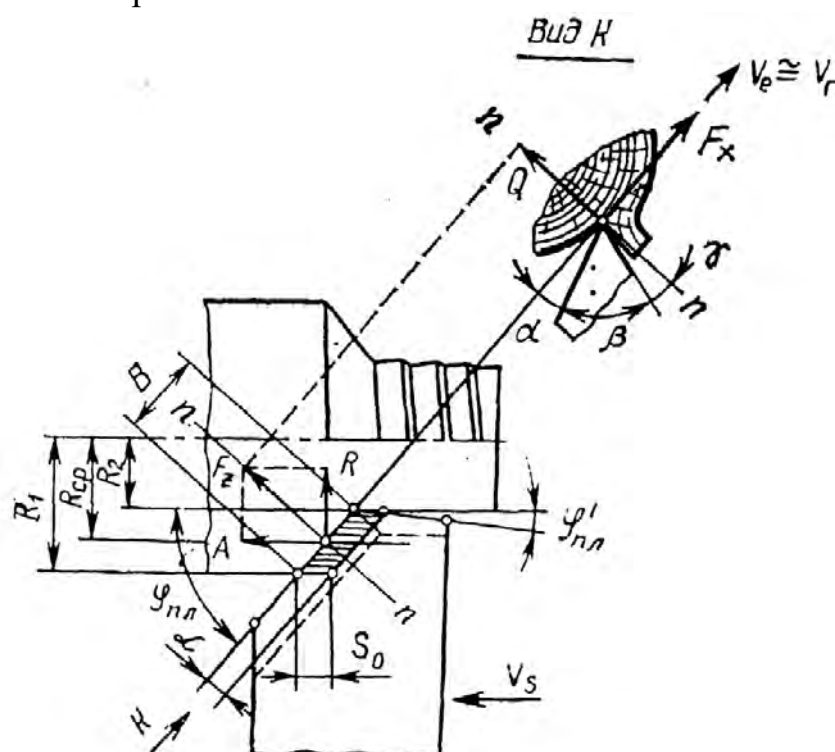


Рис. Сердцевина в древесном стволе, спроецированная на перпендикулярные между собой плоскости

2. Тангенциальное точение с продольной подачей резца, когда часть режущего лезвия, формирующая поверхность обработки, перемещается параллельно оси вращения детали в плоскости, касательной к контуру

окружности детали; с поперечной подачей, при которой режущее лезвие расположено параллельно или под углом к оси вращения детали и перемещается в направлении, перпендикулярном оси вращения детали в плоскости, касательной к контуру окружности детали.

3. Радиальное точение, при котором режущее лезвие резца находится на уровне оси зажимов, и резец перемещается по радиальному направлению.

В процессе точения древесины обрабатываемое изделие и режущий инструмент перемещаются друг относительно друга, причем резец срезает часть древесины (стружку) определенного размера и формы.

Для того чтобы удалить с поверхности изделия слой древесины, необходимы одновременно два движения: вращение изделия вокруг своей оси и непрерывное поступательное движение резца – вдоль оси изделия в случае продольного точения и перпендикулярно оси в случае радиального и тангенциального точения с поперечной подачей.

При точении на обрабатываемой заготовке имеются поверхности: обрабатываемая поверхность, поверхность резания и обработанная поверхность. Поверхность, с которой снимается слой древесины (припуск), называется обрабатываемой. Поверхность, полученная после снятия припуска, называется обработанной. Поверхность, образуемая непосредственно режущим лезвием резца на обрабатываемой заготовке, называется поверхностью резания. Часть поверхности резания, примыкающая к обработанной поверхности, остается на обрабатываемой детали в виде гребешков (резьбы) и является частью обработанной поверхности. Другая же, большая часть поверхности резания срезается за последующий оборот резания вместе со стружкой. Таким образом, поверхность резания при точении древесины является промежуточной поверхностью, и шероховатость ее еще не характеризует, в какой бы то ни было степени, качество обработанной детали.

Геометрически, толщина стружки при точении равна линейному расстоянию между последовательными положениями следов пересечения винтовой поверхности резания плоскостью, проходящей через ось вращения обрабатываемой поверхности.

Выводы.

Анализ существующего оборудования для оцилиндровки бревен показывает, что, несмотря на разнообразие типов станков, эффективность оцилиндровки не соответствует современным требованиям и зависит от многих факторов. Необходимо дальнейшее совершенствование оцилиндровки бревен, конструкций и параметров режущего инструмента.

Исследования кинематики движения бревен и режущего инструмента, а также используемых типов резания показывает, что с точки зрения уровня энергозатрат при оцилиндровке предпочтительнее использовать точение.

Библиографический список

1. Пижурин А.А. Основы процесса точения древесины. М.: ГБЛИ, 1963. 117с.
2. Сергеевичев А.В., Волков А.Ю. Изготовление оцилиндрованных бревен и точность обработки // ИВУЗ «Лесной журнал», 2007. №5. С72-77.

Сведения об авторах

ФИО	Сергеевичев Александр Владимирович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

Исследования кинематики движения бревен и режущего инструмента, а также используемых типов резания показывает, что с точки зрения уровня энергозатрат при оцилиндровке предпочтительнее использовать точение.

Ключевые слова: оцилиндровка бревен, точение древесины.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Классификация сушилок

Мокин А.Д., Марков В.А.

Введение

Использование и переработка древесных отходов – одно из самых перспективных направлений развития лесного комплекса. Основными направлениями использования отходов являются производство и переработка технологической щепы в другие продукты, используя при этом низкокачественное сырье, которому не нашлось применение в другом производстве. Мы остановимся на производстве древесностружечных плит (ДСтП).

Процесс производства ДСтП имеет ряд преимуществ перед другими древесными материалами. Такими как низкая стоимость, простота обработки, почти полная автоматизация процесса и др. В производстве древесностружечных плит используются разные типы отходов пилорам,

деревообработки и лесозаготовок, из низкокачественного леса-кругляка. Однако при производстве ДСтП влажность стружки является одним из параметров, от которого в дальнейшем зависит процесс прессования ДСтП. Любое отклонение влажности стружки может привести к последствиям, от которых будет испорчен конечный результат [1].

Для осуществления необходимой влажности стружки используются сушильные аппараты. Они (сушильные аппараты) имеют множество разновидностей, которые классифицируются по способам передачи тепла высушиваемому материалу и способам перемещения материала через сушилку.

Например, по типу перемещения материала: пневмомеханические, пневматические и комбинированные.

В данной работе рассматриваются пневмомеханические сушилки, которые также называются барабанными и выделяется самая производительная сушилка. Сушилки барабанного типа во многом превосходят другие [2].

Пневмомеханические сушилки включают в себя вращающиеся или неподвижные барабаны, через которые проходят древесные материалы посредством сжатого воздуха. Барабанные сушилки, в свою очередь, имеют три разновидности: с вращающимся одноходовым барабаном, с вращающимся трехходовым барабаном и неподвижным барабаном с сопловым дутьем. Примеры сушилок: «Прогресс» (одноходовой барабан), «Бизон» (трехходовой барабан), «Бюттнер» (с сопловым дутьем).

Рассмотрим каждую из приведенных моделей подробнее.

Схема модернизированного сушильного агрегата «Прогресс» представлена на рис. 1.

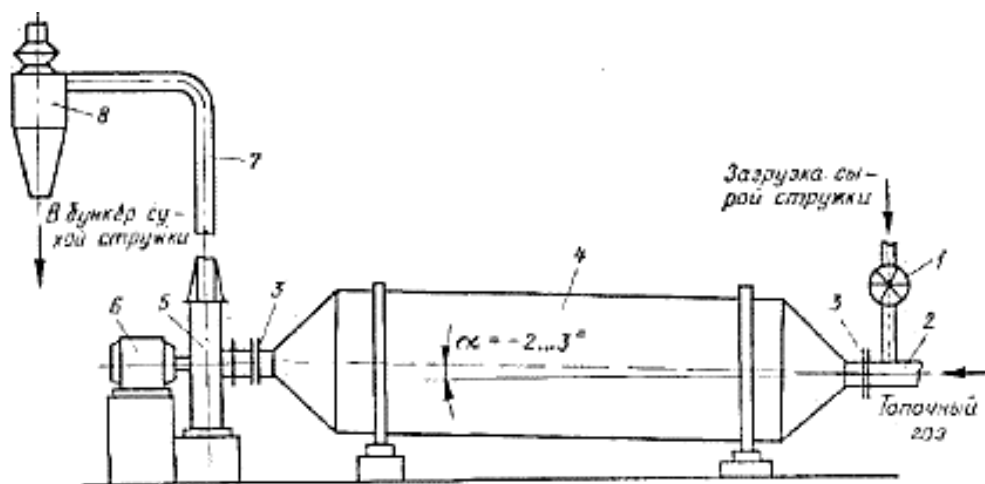


Рис. 1. Схема сушильного одноходового агрегата «Прогресс». 1 – роторный питатель; 2 – газопровод; 3 – плавающее торцовое уплотнение; 4 – барабан; 5 – дымосос; 6 – электродвигатель; 7 – трубопровод пневмотранспортной установки; 8 – циклон

Агрегаты данной модели, как правило, устанавливаются с отрицательным уклоном, приблизительно $-2-3^\circ$. Это влияет на коэффициент заполнения барабана и увеличивает продолжительность пребывания стружки в барабане. Благодаря таким условиям, производительность повышается в 2-4 раза. Максимальное значение производительности данной сушилки по испаряемой влаге равняется 3000 кг/ч, а сухой стружки 4000 кг/ч. Однако, в процессе работы агрегата необходимо постоянно следить за температурой отработанных газов (не более 120°C) и за частотой вращения барабана.

Сушильный агрегат фирмы «Бюттнер» (рис. 2), представляет собой неподвижный горизонтальный барабан с ротором который вращается внутри, а также он снабжен лопастями. Стружка вращается и перемещается за счет потока движущихся газов и вращения ротора. Агент сушки и высушиваемого материала имеют спиралеобразное движение. Производительность агрегата по сухой стружке составляет 6400 кг/ч, а по испаренной влаге 6200 кг/ч.

Сушилка данной фирмы обладает автоматизированной системой регулирования подачи топлива, поддержания заданной температуры, а также имеет противопожарную систему тушения огня в барабане и циклоне. Однако ее основным недостатком является ограниченная максимальная температура сушильного агента, которая не должна превышать $300-350^\circ\text{C}$.

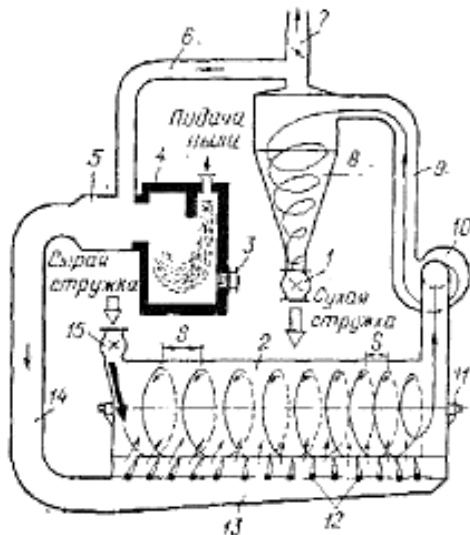


Рис. 2. Схема сушильного одноходового агрегата «Прогресс». 1 – роторный питатель; 2 – газопровод; 3 – плавающее торцовое уплотнение; 4 – барабан; 5 – дымосос; 6 – электродвигатель; 7 – трубопровод пневмотранспортной установки; 8 – циклон

Схема трехходового сушильного барабана фирмы «Бизон» представлена на рисунке 3. Многооборотные барабанные сушилки подобного типа выгодно отличаются по многим параметрам, от других пневмомеханических сушилок равномерностью влажности стружки, габаритами, а также металлоёмкостью.

Хоть путь прохождения стружной зоны сушилки удлинен и продолжительность сушки составляет 8-20 мин – производительность данной сушилки достигает по абсолютно сухой стружке – 8250 кг/ч, а по испаренной влаге – 8000 кг/ч, что значительно превышает параметры сушилок, которые были приведены ранее.

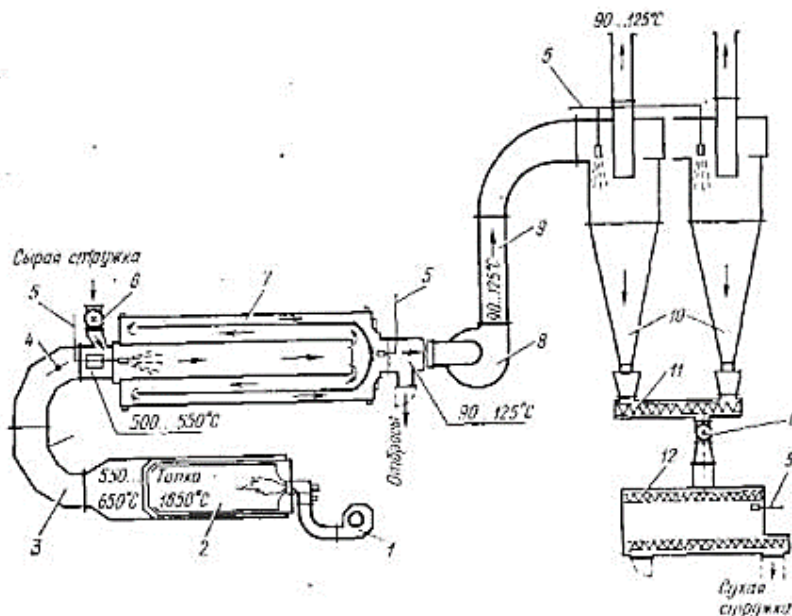


Рис. 1. Схема трехходового сушильного барабана «Бизон». 1 – вентилятор подачи воздуха в топку; 2 – топка; 3,9 – газоходы; 4- запорная заслонка; 5 – система пожаротушения; 6 – роторный питатель; 7 – сушильный барабан; 8 – вентилятор; 10 – циклоны; 11 – винтовой конвейер; 12 – противопожарный бункер.

Исходя из всего вышесказанного, можно сделать вывод, что сушильный агрегат фирмы «Бизон» является самым перспективным из всех пневмомеханических сушилок, перечисленных в данной работе. Ее производительность, как было сказано ранее, значительно превышает другие по техническим характеристикам. А также ее конструкция выигрывает на фоне других, не смотря на увеличенную продолжительность процесса сушки.

Библиографический список

3. Шварцман Г.А., Щедро Д. А. Производство древесно-стружечных плит. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 315 с.
4. Шварцман Г.М., Производство древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-ость, 1977. –312с.
5. Отлев И.А. Справочник по производству древесностружечных плит. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 384 с.
6. Карасев Е.И., Каменков С.Д. Оборудование предприятий для производства древесных плит: учебник для вузов / М.: МГУЛ, 2002. - 320 с.

Сведения об авторах

ФИО

Марков Виктор Александрович

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail Mactor85@mail.ru

ФИО Мокин Алексей Дмитриевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код –
e-mail Lexmok@mail.ru

Аннотация

Данная работа посвящена классификации сушильных агрегатов. В данной работе представлены разные модели пневмомеханических сушилок. Для каждой из представленных моделей были представлены характеристики и описание, на основе которых был проведен сравнительный анализ. Проведенная работа позволила выделить сушильный агрегат, который обладает наилучшими показателями для сушки стружки.

Ключевые слова: древесностружечные плиты; стружка; барабанные сушилки; влажность; трехходовой барабан.

УДК 630*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Оценка энергоэффективности элементов ограждающих конструкций деревянного домостроения

Федяев А.А., Федяев Ар.А., Федяева Н.Ю., Машутин А.С.

Введение.

В настоящее время существенно увеличились темпы строительства многоквартирных объектов из древесины, что требует оценки энергоэффективности отдельных элементов конструкций и материалов [1], из которых они изготовлены, так как при этом существенны затраты на используемые в системах отопления энергоносители.

Существенные потери тепловой энергии характерны, в частности, для дверных и оконных блоков [2], чердачных помещений и подвальных перекрытий и вентиляционных шахт.

Используемые методы оценки энергоэффективности различных видов конструкций можно использовать для определения усредненных тепловых свойств различных материалов. Оценка тепловых потерь по стандартным методикам нередко не учитывает особенности изготовления отмеченных выше конструкций, их монтажа и условий эксплуатации. Кроме того, высока вероятность ошибки в оценке энергоэффективности конструкций, выполненной по стандартным методикам при использовании обобщенной справочной информации.

В последнее время широкое применение для оценки тепловых потерь находят методы, с использованием результатов тепловизионного обследования зданий и сооружений [3, 4, 5]. Проведенные обширные экспериментальные исследования показали, что монолитные конструкции из недревесных материалов, используемые в качестве ограждающих конструкций, нередко имеют дефекты уже в стадии их изготовления и монтажа, что естественно при эксплуатации приводит к повышенным потерям тепловой энергии. Учитывая высокие теплоизоляционные свойства древесины в зависимости от различных вариантов исполнения ограждающих конструкций можно априори утверждать, что их энергоэффективность может быть существенно выше, чем при использовании для этих целей недревесных материалов.

Содержание статьи.

Сравнительный анализ энергоэффективности светопрозрачных ограждающих конструкций различных типов для зданий и сооружений (деревянных, панельных) на основе материалов проведенных тепловизионных обследований и стандартных методов определения тепловых потерь.

Анализ тепловизионных данных показал, что теплоизоляционные характеристики элементов стен, рам и створок ограждающих конструкций во многих случаях не соответствуют предъявляемым требованиям нормативных документов по перепаду между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, который не должен превышать 4°C в соответствии с СП 50.13330.2012 «Тепловая защита зданий».

В условиях отрицательных температур (зимние месяцы) перепад температур значительно увеличивается, что как правило приводит к промерзанию стен, элементов светопрозрачных ограждающих конструкций и соответственно, к существенному понижению температуры воздуха внутри помещений [4, 5]. Отмечается также нарушение изоляционного слоя между

рамами и ограждающими стенками и повышенные потери тепловой энергии вследствие неправильной регулировки запорной арматуры, в дефектных зонах.

В рамках исследований был проведен сравнительный анализ максимально допустимых потерь тепловой энергии через створки светопрозрачных ограждающих конструкций с фактическими. В целях исключения влияния фактора локальных дефектов при монтаже конструкций, расчет проводился без учета потерь тепла через монтажный слой между ограждающей стеной и светопрозрачной ограждающей конструкцией. Расчет тепловых потерь выполнен при условии максимально допустимых отклонений температур внутреннего воздуха и элементов ограждающих конструкций (регламентированный соответствующими нормативными документами) и фактическими.

Определение трансмиссионных тепловых потерь створок светопрозрачных ограждающих конструкций выполняли на основе закона Ньютона-Рихмана [6]:

$$Q = k \cdot F \cdot \Delta t, \quad (1)$$

где Q – трансмиссионные потери тепловой энергии, Вт; F – площадь поверхности теплоотдачи, м²; Δt – разница между температурой внутреннего воздуха и внутренней поверхности ограждающей конструкции, °С (для расчета максимально допустимых потерь по стандартной методике на основании СП 50.13330.2012 величина Δt принята равной 4 °С, при определении фактических потерь значение Δt принято на основании полученных термограмм); k – коэффициент теплопередачи ограждающих материалов, Вт/(м²·°С).

Так, некоторые результаты укрупненных расчетов по оценке тепловых потерь через элементы створок различных светопрозрачных ограждающих конструкций на 1 м² элементов створок представлены на рис. 1.

Зависимость трансмиссионных потерь тепловой энергии от толщины створок деревянных оконных блоков может быть описана уравнениями:

$$Q^T = -144,49 \cdot h + 22,181 \quad (2)$$

$$Q^\Phi = 135,03 \cdot e^{-37,911 \cdot h} \quad (3)$$

где Q^T и Q^Φ – соответственно максимально допустимые по стандартной методике и фактические трансмиссионные потери тепловой энергии через деревянные створки светопрозрачных ограждающих конструкций, Вт; h – толщина створок деревянных светопрозрачных ограждающих конструкций, 0,11 ≤ h ≤ 0,04 м.

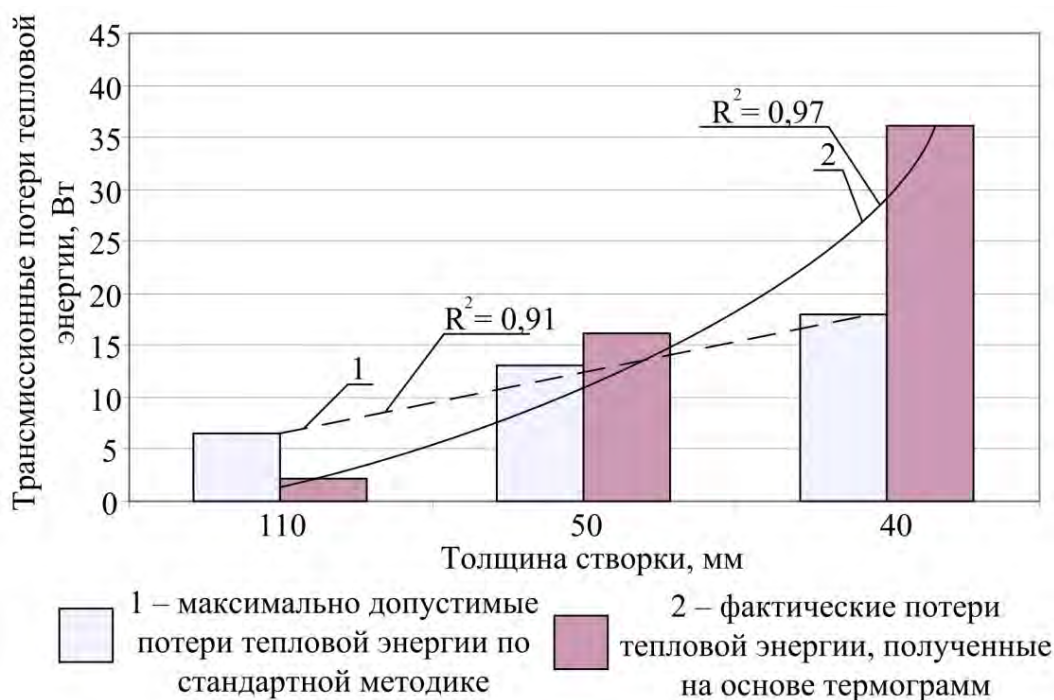


Рис. 1. Результаты расчетов тепловых потерь элементов створок светопрозрачных ограждающих конструкций на 1 м²

Результаты расчетов трансмиссионных потерь тепловой энергии показывают, что при толщине створок в 110 мм из древесины фактические потери более чем в три раза ниже допустимых, что указывает на значительное превышение рациональной толщины элементов светопрозрачных ограждающих конструкций в климатических условиях проведения эксперимента, что для различных климатических условий, влечет за собой не только дополнительные затраты на изготовление этих элементов, но и на энергоносители. И наоборот – относительно малые толщины этих элементов не обеспечивают необходимой энергоэффективности этих элементов. При толщине створок 50 и 40 мм допустимые трансмиссионные потери тепловой энергии превышают нормативы более чем в 1,25 и 2 раза соответственно, что требует дополнительных энергозатрат на отопление.

Заключение.

Проведенные исследования показали, что энергоэффективность различных элементов ограждающих конструкций зависит не только от качества их монтажа и изготовления, но и размерно-качественных характеристик применяемых материалов, климатических условий региона эксплуатации.

Стандартные методы определения тепловых потерь через ограждающие конструкции не отражают их фактические значения для различных конструкций и материалов, используемых для их изготовления.

Библиографический список

1. Кондратюк В.А., Косарев В.А. О задачах и путях развития деревянного домостроения в России. Вестник МГУЛ - Лесной вестник, 2012, № 8.- С. 79-84.
2. Федяев А.А., Чубинский А.Н., Федяев А.А., Федяева Н.Ю. Анализ энергоэффективности элементов светопрозрачных ограждающих конструкций // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 212, СПб.: СПбГЛТУ, 2015 – с. 198 – 210.
3. Федяев П.А., Шейшенов Ж.О. Энергетическая оценка выборочных направлений энергосбережения // Совместный выпуск Восточно-Казахстанский государственный технический университет им. Д. Серикбаева и Институт вычислительных технологий СО РАН Вычислительные технологии. – 2013. – Ч.1. – С. 299-302.
4. Садович М.А., Коплик В.С., Федяев П.А. Исследование температурных полей монолитных конструкций с помощью тепловизора. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: материалы X (XXXII) Всероссийской научно-технической конференции. – Братск: Изд-во БрГУ, 2011. – С. 98-100.
5. Федяев А.А., Чубинский А.Н., Федяев А.А., Федяев П.А., Танковская Н.Ю. Обоснование необходимости проведения тепловизионного обследования конструкций и сооружений из древесины. Современные проблемы переработки древесины: материалы международной научно-практической конференции. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014, с. 23 – 26.
6. Баскаков А.П., Берг Б.В., Витт О.К. и др. Теплотехника: учебн. для вузов под ред. А.П. Баскакова. – 2-е изд., перераб. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 224 с.

Сведения об авторах

ФИО Федяев Александр Артурович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4618-5907
e-mail Vends1@mail.ru

ФИО Федяев Артур Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8169-9209
e-mail art_fedyayev@mail.ru

ФИО Федяева Наталья Юрьевна
Организация СПбГБПОУ «Колледж отраслевых технологий «Краснодеревец»
Адрес организации 195267, ул. Ушинского, д. 16, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код	7500-5197
e-mail	nat_fedyaeva@mail.ru
ФИО	Машутин Анатолий Сергеевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	–
e-mail	anatoli.mashutin@yandex.ru

Аннотация

Проведенные исследования и анализ тепловизионных данных показали, что потери тепловой энергии в зависимости от различных толщин створок окон могут отличаться более чем в 2 раза от существующих требований, что предопределяют необходимость обоснованного подхода при выборе элементов светопрозрачных ограждающих конструкций, материалов для изготовления этих элементов с учетом геоклиматических особенностей региона эксплуатации.

Ключевые слова: тепловые потери энергии, светопрозрачные ограждающие конструкции, расчетные исследования.

УДК 630*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.33.31; 44.31.01

Влияние неравномерности динамических параметров на период термообработки пористых структур

Федяев А.А., Федяева В.Н.

Введение.

Тепловая сушка является составной частью многих технологий и относится к числу энергоемких. По различным данным затраты топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на сушку составляют примерно 12% всех затрат энергии в промышленности и сельском хозяйстве.

В настоящее время произошли значительные изменения в технике и технологии сушки, особенно массовой сушки товарных пиломатериалов на лесопильных предприятиях. Увеличились мощности камерной сушки пиломатериалов благодаря строительству новых камер непрерывного действия.

В связи с расширением комплексного использования древесины роль сушки возрастает, особенно в Сибири, где более 70% площади занимают леса.

Особенно большое развитие получает камерная сушка пиломатериалов, в том числе массовая сушка на лесопильных предприятиях.

Сушка - процесс удаления влаги из материала путем ее испарения. Сушка пиломатериалов - одна из важнейших операций в технологическом процессе лесопиления и деревообработки. Сушка предохраняет древесину от поражения древоокрашивающим и дереворазрушающим грибам в процессе ее хранения и транспортирования, предупреждает размеро- и формоизменяемость древесины в процессе изготовления и эксплуатации изделий из нее, улучшает качество отделки древесины в процессе изготовления и эксплуатации изделий из нее, улучшает качество отделки древесины, склеивания.

Содержание статьи.

В рабочих камерах теплотехнологических установок аэродинамическая обстановка отличается широким спектром неравномерных сложных профилей плотности потока массы основных энергоносителей. Полученные при проведении экспериментальных или расчетных исследований неравномерные профили практически могут быть любой степени сложности, в том числе и с отрицательными значениями векторов [1, 2].

Изменение (увеличение или уменьшение) осредненного значения скорости однозначно приводит к изменению расхода энергоносителя, а значит и подводимого к обрабатываемому материалу тепла [3]. На рис. 1 представлена расчетная зависимость изменения продолжительности сушки сосны различной толщины (толщина пиломатериала 0,025 м и 0,04 м, соответственно) от скорости сушильного агента при конечном влагосодержании $W_k = 10 \%$ и начальном влагосодержании $W_n = 30 \%$.

Обработка экспериментально полученных профилей скорости в рабочей камере сушильных установок представлена на рисунке 2. На графике показана количественная оценка зависимости продолжительности сушки, необходимые для термообработки пиломатериалов (сосна) $S = 0,025$ м, до конечного влагосодержания $W_k = 10 \%$ при начальном влагосодержании $W_n = 30 \%$ под влиянием неравномерных динамических профилей в процентном отношении к равномерному распределению энергоносителя.

Равномерный профиль с величиной осредненного значения скорости 4 м/с принят за 100 %. Осредненное значение скоростей для разных видов профилей равны: № 1 – 4 м/с; № 2 – 4,68 м/с; № 3 – 3,45 м/с; № 4 – 5,06 м/с; № 5 – 3,35 м/с; № 6 – 4,14 м/с; № 7 – 3,19 м/с. Значит, на основании результатов расчетов можно сделать вывод о негативном влиянии неравномерных профилей плотности потока массы сушильного агента.

Из представленного графика, очевидно, что динамические характеристики оказывают значительное воздействие на продолжительность термообработки материалов.

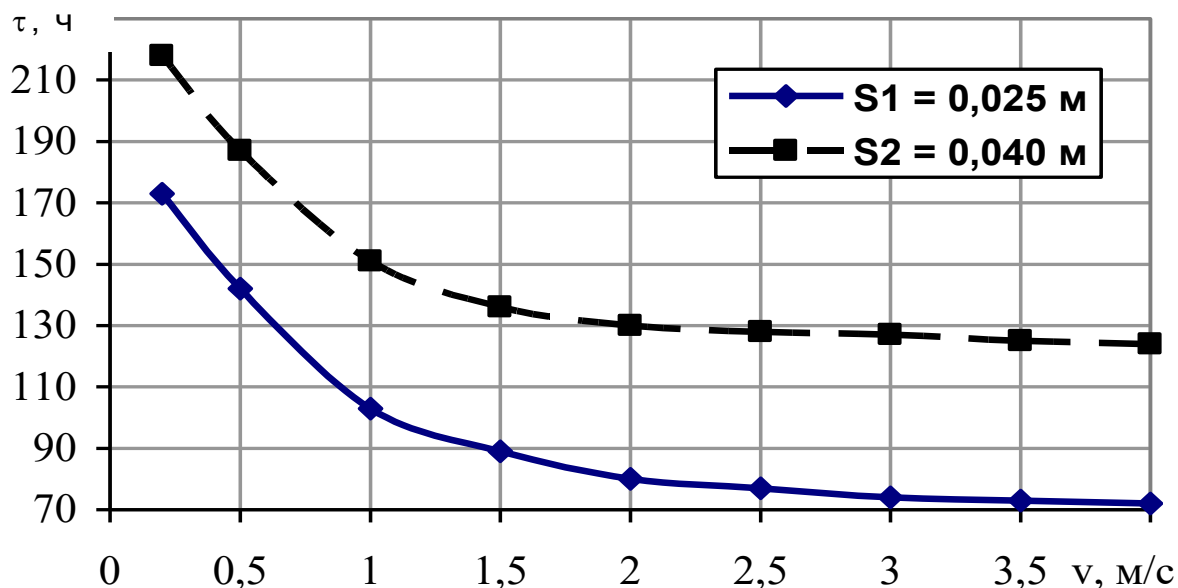


Рис. 1. Зависимость изменения продолжительности сушки сосны от скорости энергоносителя

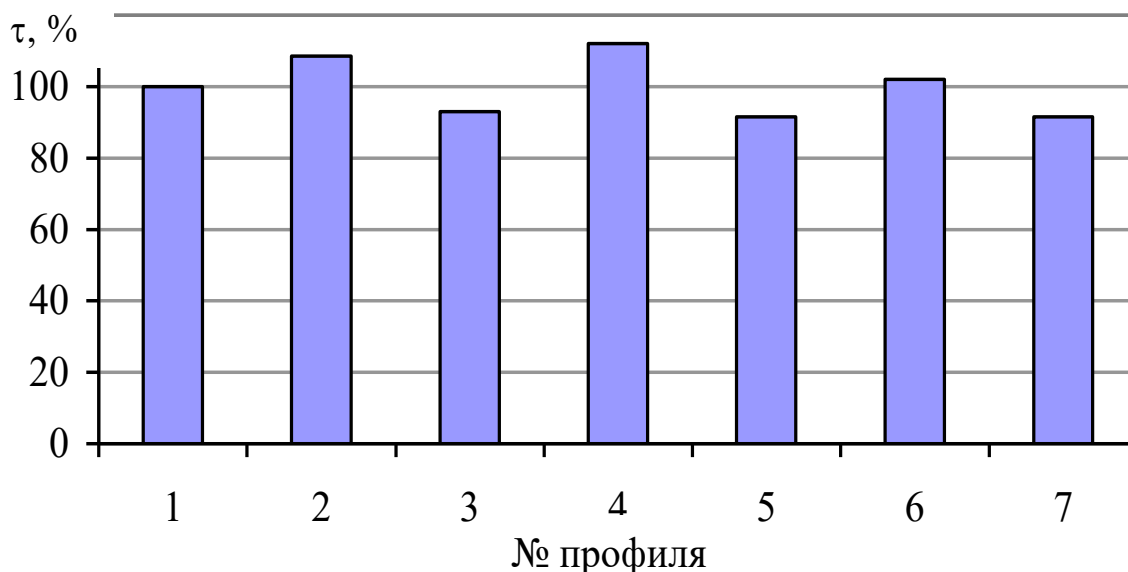


Рис. 2. Зависимость изменения продолжительности сушки сосны при различных неравномерных профилях плотности потока массы сушильного агента по сравнению с равномерным распределением

Однако необходимо помимо осредненного значения скорости учитывать и характер распределения скоростей потока по поперечному сечению рабочей зоны установки. Так при термообработке по осредненному профилю все равно имеются «пики» и «провалы» динамических полей, что приводит к пересушке и

недосушке материалов соответствующих областях штабелей, а значит и к технологическому браку готовой продукции.

Заключение.

Используя различные теплотехнические приемы и технические решения можно выполнить выравнивание начального профиля до технически равномерного состояния [4, 5], так как идеально равномерный профиль начальной скорости практически получить невозможно, тем более для высокопроизводительных и крупногабаритных камер.

Увеличение продолжительности сушки с целью получения кондиционных параметров для пиломатериалов, расположенных в нижней части штабеля для рассматриваемого в работе варианта (сосна, $S = 0,025$ м) составляет, как показывает расчет, не более 0,03 %.

Библиографический список

1. Федяев А.А., Федяева В.Н., Федяев П.А. Расчетные исследования нестационарного внутреннего влаго- и теплопереноса коллоидных тел. Труды Братского государственного университета: Серия Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. Т.2. - Братск: БрГУ, 2006. – С. 120 – 125.
2. Федяев А.А., Федяева В.Н. Оценка эффективности использования энергоносителя в технологической системе предприятия. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: материалы XIV (XXXVI) Всероссийской научно-технической конференции. – Братск: Изд-во БрГУ, 2015.-1с.
3. Смагин В.В. Использование нестационарного энергоподвода для интенсификации процесса сушки плоских материалов: Автореф. дис.... канд. техн. наук. - М., 1984. - 20 с.
4. Федяев А.А., Федяева В.Н. Математическое моделирование подачи энергоносителя в камерах сушки. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: материалы XV (XXXVII) Всероссийской научно-технической конференции. – Братск: Изд-во БрГУ, 2016.-с.47-48
5. Сергеевичев В.В., Федяев А.А., Сергеевичев А.В., Федяев Ар.А., Кузнецова Е.Г. Повышение качества комбинированной фанеры. Системы. Методы. Технологии. 2016. БрГУ. № 4 (32) с. 148 - 153.

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	Vends1@mail.ru
ФИО	Федяева Валентина Николаевна
Организация	ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»
Адрес организации	665709, г. Братск, ул. Макаренко д. 40, Россия

SPIN-код –
e-mail vends1@mail.ru

Аннотация

Представлены результаты экспериментальных или расчетных исследований неравномерных профилей практически любой степени сложности, в том числе и с отрицательными значениями векторов, и их влияние на продолжительность процесса сушки пиломатериалов. Дана оценка величины увеличения продолжительности термообработки материалов с целью получения их кондиционных параметров.

Ключевые слова: аэродинамическая обстановка, профили, экспериментальные исследования, неравномерные поля физических величин, сушильный агент.

УДК 630*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.33.31

Контроль продолжительности сушки пиломатериалов изменением динамических характеристик

Федяев А.А.

Введение.

В рабочих камерах теплотехнологических установок аэродинамическая обстановка отличается широким спектром неравномерных сложных профилей плотности потока массы основных энергоносителей. Полученные при проведении экспериментальных или расчетных исследований неравномерные профили практически любой степени сложности, в том числе и с отрицательными значениями векторов, аппроксимируются полиномом третьей степени со своими коэффициентами сплайна [1].

Разработанное программное обеспечение «Profile» позволяет получать значения поля переменных физических величин в любой координатной точке проточной части теплотехнологической установки, а также среднеинтегральное значение физической величины, которые в дальнейшем используются в качестве одного из начальных параметров в программном продукте для расчета внутреннего тепломассопереноса [2, 4].

Содержание статьи.

Изменение (увеличение или уменьшение) осредненного значения скорости однозначно приводит к изменению расхода энергоносителя, а значит и подводимого к обрабатываемому материалу тепла [3].

На основании результатов расчетов [5, 6] можно однозначно сказать, что неравномерных профилей плотности потока массы сушильного агента отрицательно влияют на качество материала при сушке. Также динамические характеристики оказывают значительное воздействие на продолжительность термообработки материалов.

Однако необходимо помимо осредненного значения скорости учитывать и характер распределения скоростей потока по поперечному сечению рабочей зоны установки. Так при термообработке по осредненному профилю наличие «пиков» и «провалов» (рис. 1а) приводит к пересушке и недосушке материалов соответствующих областей штабелей, а значит и к технологическому браку готовой продукции.

Используя различные теплотехнические приемы и технические решения можно выполнить выравнивание начального профиля до технически равномерного состояния рисунок 1б, так как идеально равномерный профиль начальной скорости практически получить невозможно, тем более для высокопроизводительных и крупногабаритных камер.

С учетом допустимого по технологии диапазонов по конечному влагосодержанию (для рассматриваемого варианта $W_k = 10 \pm 2 \%$, на рис. 1б – пунктир) некондиционные параметры сушеного материала возможны только в самой верхней и нижней зонах штабеля

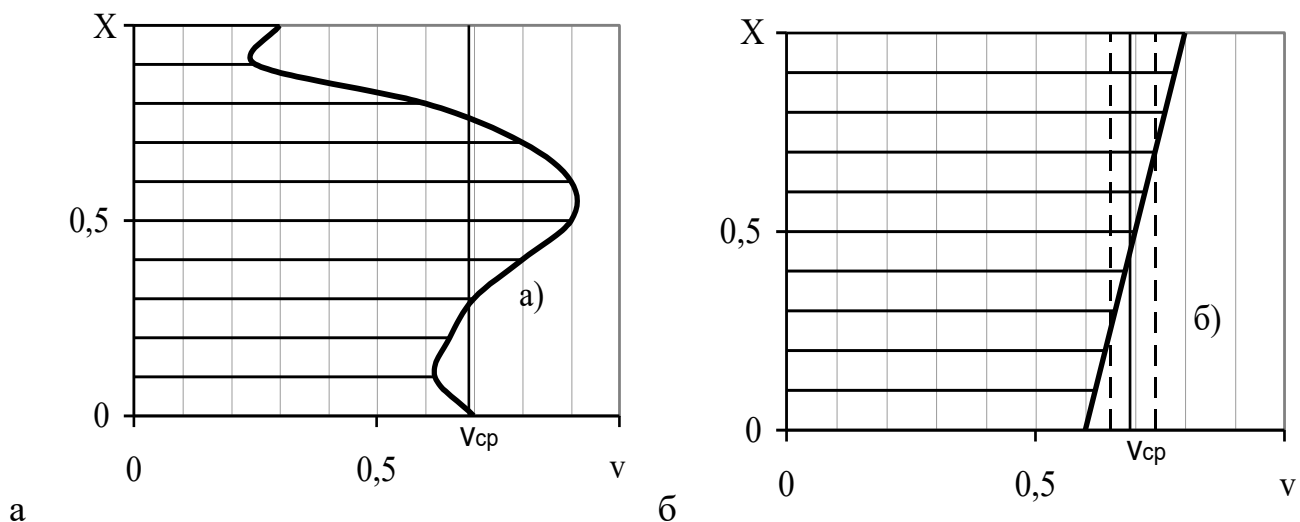


Рис. 1. Распределение неравномерного (а) и технически равномерного (б) профилей скорости по сечению рабочей камеры

На основании результатов расчетов [5, 6] можно однозначно сделать вывод о негативном влиянии неравномерных профилей плотности потока массы сушильного агента на качество кондиционной продукции. Из представленных результатов экспериментальных и расчетных исследований, очевидно, что

динамические характеристики оказывают значительное воздействие также и на продолжительность термообработки материалов.

Разработанное программное обеспечение «Profile», позволяет получать значения полей переменных физических величин в любой координатной точке проточной части рабочей камеры, которые в дальнейшем используются в качестве одного из начальных параметров в программном продукте.

Выравнивание профилей полей физических величин оказывает существенное влияние на качество готовой продукции, что позволяет снизить технологический брак до 3% и более.

Библиографический список

1. Мудров А.Е. Численные методы для ПЭВМ на языках Бейсик, Фортран и Паскаль. – Томск: МП «РАСКО», 1991. – 272 с.: ил.
2. Федяев А.А., Федяева В.Н., Федяев П.А. Расчетные исследования нестационарного внутреннего влаго- и теплопереноса коллоидных тел. Труды Братского государственного университета: Серия Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. Т.2. - Братск: БрГУ, 2006. – С. 120 – 125.
3. Смагин В.В. Использование нестационарного энергоподвода для интенсификации процесса сушки плоских материалов: Автореф. дис.... канд. техн. наук. - М., 1984. - 20 с.
4. Федяев А.А., Федяева В.Н. Оценка эффективности использования энергоносителя в технологической системе предприятия. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: материалы XIV (XXXVI) Всероссийской научно-технической конференции. – Братск: Изд-во БрГУ, 2015.-1с.
5. Федяев А.А., Федяева В.Н. Математическое моделирование подачи энергоносителя в камерах сушки. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: материалы XV (XXXVII) Всероссийской научно-технической конференции. – Братск: Изд-во БрГУ, 2016.-с.47-48.
6. Федяев А.А., Федяева В.Н., Федяев П.А. Программное обеспечение для исследования процессов теплопереноса в зонах термообработки пористых материалов. Труды Братского государственного университета: Серия Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. 2017. Т.1. – С. 63 – 68.

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	Vends1@mail.ru

Аннотация

Разработанное программное обеспечение «Profile», позволяет получать значения полей переменных физических величин в любой координатной точке

проточной части рабочей камеры, которые в дальнейшем используются в качестве одного из начальных параметров в программном продукте. Экспериментальные или расчетные неравномерные профили аппроксимированы полиномом третьей степени со своими коэффициентами сплайна. Дана оценка изменения времени сушки материалов для снижения брака.

Ключевые слова: рабочая камера, программное обеспечение, профили, экспериментальные исследования, неравномерные температурные поля.

УДК 630*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.33.31

**Программное обеспечение для расчетных исследований
продолжительности термообработки пористого сортамента в
теплотехнологической установке**

Федяев А.А.

Введение.

Повышение теплотехнической эффективности процессов сушки не только приводит к экономии топлива, энергии и капитальных затрат, но и позволяет обеспечивать необходимые качественные показатели продукции. Разработка методов и приемов повышения эффективности процессов в сушильных установках требует наличия информации о процессах, развивающихся в их элементах, которая, однако, часто по своему объему недостаточна и требуется принятие конкретных технических решений в условиях неопределенности [1, 2]. Тогда для решения этой задачи особенно эффективно применение методов математического моделирования сушильных и смежных процессов на ЭВМ, а также комплексных экспериментальных исследований гидродинамического совершенства существующих рабочих камер и технологических процессов [3].

Содержание статьи.

Для параметрических расчетов и исследований влияния различных факторов на продолжительность термообработки пористых материалов была разработана вычислительная программа для ПК, на языке программирования «pascal» [4]. Она позволяет определять время термообработки в камерах периодического действия «укрупненным» методом, который был разработан Московским лесотехническим институтом [5].

Программа учитывает практически все факторы, влияющие на продолжительность сушки, такие как: параметры древесины (размер, порода, начальное и конечное влагосодержание); режим сушки; интенсивность

циркуляции воздуха в камере и реверсивность; необходимую категорию качества и др.

Опуская алгоритм расчета разработанной программы по расчету продолжительности сушки представим в виде блок-схемы и информации о назначении расчетных блоков, покажем наиболее значимые рабочие параметры.

После запуска программы в появившемся рабочем окне вводим после выбора расчетных составляющих параметров необходимые интересующие значения (рис 1).

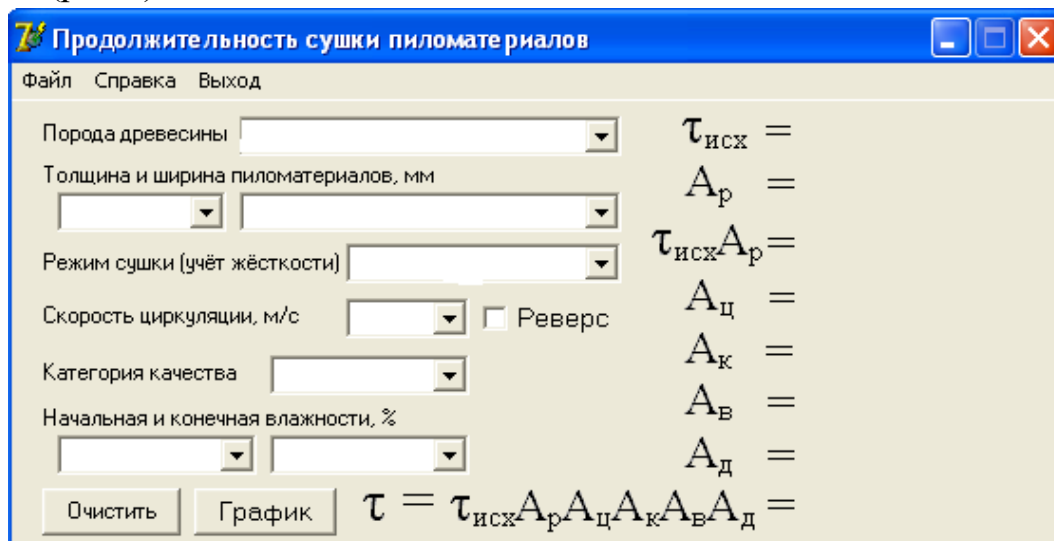


Рис. 1. Общий вид рабочего окна программы

Далее программа автоматически рассчитывает продолжительность сушки пиломатериалов для выбранных параметров (рис. 2.) по приведенной в [3, 4] методике с выводом соответствующих коэффициентов, необходимых для возможного контроля промежуточных данных расчета

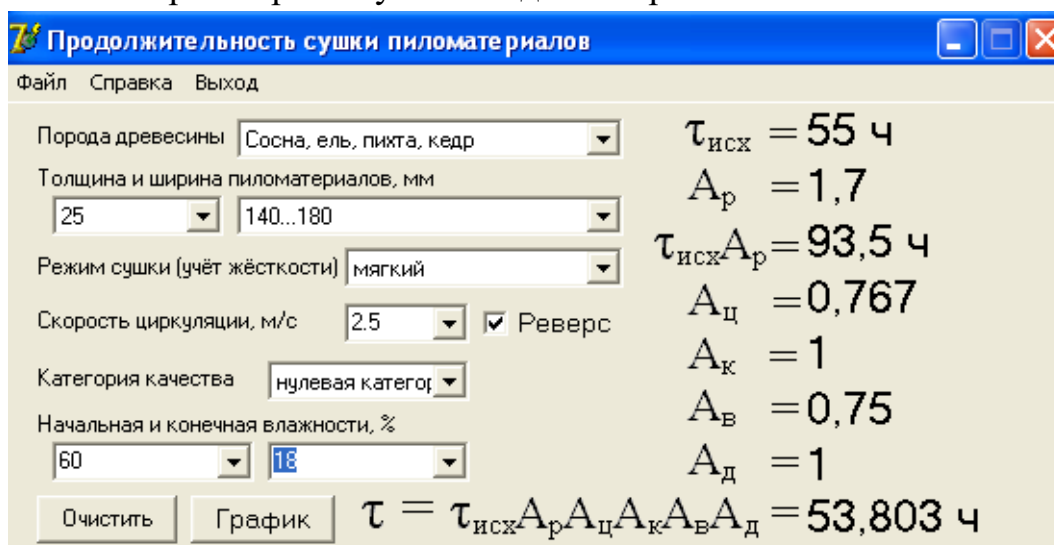


Рис. 2. Рабочее окно программы с выведенными результатами

Для визуального представления графика процесса сушки, фиксируется кнопка «график». В появившемся окне появляется график зависимости влажности древесины от времени (рис. 3.).

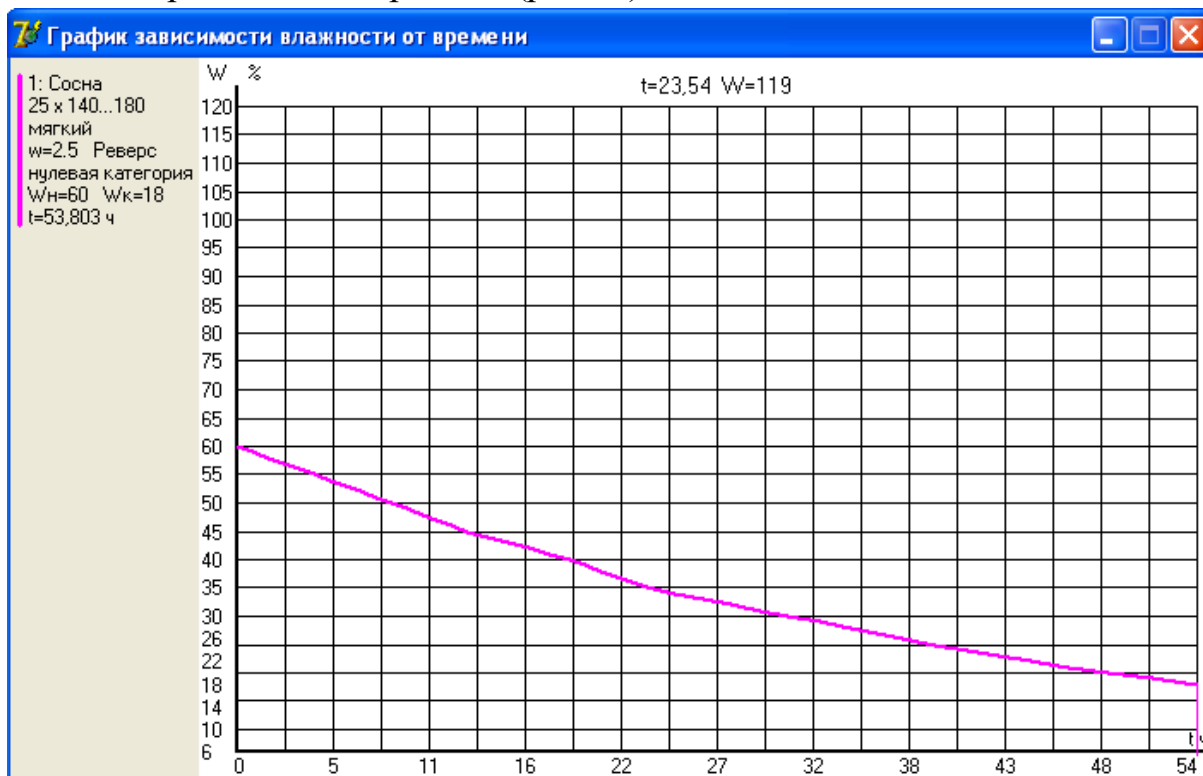


Рис. 3. График зависимости влажности материала от времени термообработки
Полученные расчетные данные можно сохранить в текстовом виде.

Заключение.

При оценке эффективности работы различного теплотехнологического оборудования важную роль играют не только экспериментальные исследования фактических параметров энергоносителей как в различных элементах, так и в целом для теплотехнологических установок, а также расчетные исследования [6]. Последнее необходимо для оценки достоверности полученных, например, от Заказчика исходных данных при определении, в частности, эффективности работы в целом основного теплотехнологического оборудования, а также уметь представлять и анализировать полученную информацию.

Библиографический список

1. Шишкина Е.Е. Сушка пиломатериалов в камерах малой мощности с естественной циркуляцией воздуха [Текст] : автореферат диссертации на соискание ученой степени канд. техн. наук :05.21.05 / Е. Е. Шишкина. - СПб., 2006.
2. Платонов А.Д. Интенсификация процесса сушки древесины трудносохнущих пород [Текст] : автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра техн. наук :05.21.05 / А. Д. Платонов. - Воронеж, 2006.
3. Данилов О.Л., Леончик Б.И. Экономия энергии при тепловой сушке, - М.: Энергоатомиздат, 1986. -136с.
4. Богданов Е.С., Козлов В.А. Справочник по сушке древесины, - М.: Лесн. пром-сть, 1990.- 304с.
5. Бобровский С.И. Delfi 7. Учебный курс - СПб.: Санкт Петербург, 2006. - 736с.

6. Федяев А.А. Энергосбережение при сушке пиломатериалов за счет кинетической оптимизации // Вестник «КрасГАУ». – 2008. - №7. - С. 228-232.

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	Vends1@mail.ru

Аннотация

Представлено разработанное программное обеспечение для обработки и представления в графическом виде результатов расчетных исследований по определению продолжительности термообработки пористых материалов при различных переменных внешних факторах. Также учитываются такие важные характеристики материала как порода древесины, толщина сортамента, его начальное и конечное влагосодержание.

Ключевые слова: сушильная камера, расчетная программа, термообработка, продолжительность термообработки.

УДК 620.9:662.6

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.33.31

Математическое моделирование эффективности работы термовлажностной установки

Федяев А.А., Федяева В.Н.

Введение.

В настоящее время произошли значительные изменения в технике и технологии сушки, особенно массовой сушки товарных пиломатериалов на лесопильных предприятиях. Увеличились мощности камерной сушки пиломатериалов благодаря строительству новых камер непрерывного действия. Процесс сушки является составной частью многих технологий и относится к числу энергоемких. По различным данным затраты энергоносителей на термообработку составляют примерно 12% всех затрат энергии в промышленности и сельском хозяйстве.

Поэтому актуальным является поиск возможностей повышения эффективности работы теплоэнергетических процессов и установок и снижения технологического брака при производстве продукции [1-3]. Повышение

теплотехнической эффективности процессов сушки не только приводит к экономии топлива, энергии и капитальных затрат, но и позволяет обеспечивать необходимые качественные показатели продукции.

Для решения этих задач особенно эффективно применение методов математического моделирования сушильных и смежных процессов, а также комплексных экспериментальных исследований гидродинамического совершенства существующих рабочих камер и технологических процессов [1].

Содержание статьи.

С целью выполнения параметрических расчетов и исследований влияния различных факторов на продолжительность термообработки пористых материалов было разработано соответствующее программное обеспечение, позволяющее определять время термообработки в камерах периодического действия «укрупненным» методом [4]. Программа учитывает практически все факторы, влияющие на продолжительность сушки, такие как: параметры древесины (размер, порода, начальное и конечное влагосодержание); режим сушки; интенсивность циркуляции воздуха в камере; необходимую категорию качества и др.

Программный продукт позволяет представлять данные расчетных исследований КА в графическом, так и текстовом виде, причем в рабочем окне представлена информация о промежуточных стадиях расчета, что является весьма удобным для тарировок экспериментальных кривых продолжительности термовлажностной обработки пористых материалов.

В работе проведено определение точности расчетных данных. Первоначально выполнено сравнение полученного результата расчета продолжительности сушки материалов с результатом, полученным в ходе расчета «вручную».

Для материала сосны:

Расчет по программному обеспечению, при толщине пиломатериала 25мм и конечной влажности 18% $\tau = 53,803$ ч. При расчете «вручную», при толщине пиломатериала 25мм и конечной влажности 18% $\tau = 53,3$ ч. Погрешность расчета составила 0,9%. Полученные в дальнейшем расчетные данные представлены на рисунке 1.

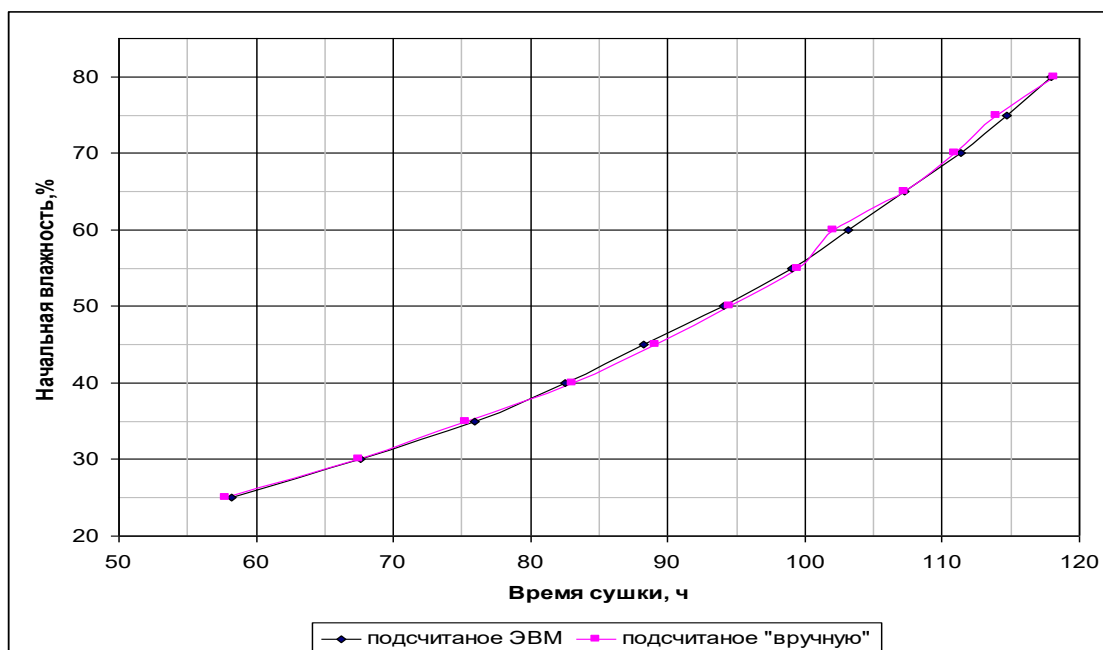


Рис. 1. График зависимости времени термообработки пористых материалов от переменных факторов, полученных с помощью программного обеспечения

Из рисунка 1 очевидно также, что погрешность при использовании разработанного программного обеспечения достаточно незначительная.

Заключение.

Таким образом, разработанная программа по определению продолжительности термообработки позволяет с достаточной точностью использоваться для параметрических расчетов разнообразного сортамента пористых материалов при различных переменных факторах.

Ранее также было представлено разработанное программное обеспечение для обработки и представления в графическом виде результатов опытных исследований по эффективности работы отдельных элементов рабочей камеры теплотехнологической установки [5]. Анализ полученных данных показывает, как правило, на существенное влияние динамических характеристик энергоносителя, а значит и энергоподвода, в различных сечениях рабочей камеры теплотехнологической установки, а также различных внешних факторов [6].

Для выравнивания потока энергоносителя также весьма эффективным средством являются исследования по подбору конфигурации, количества и местоположения распределительных устройств для выравнивания входного профиля в рабочей камере, что предопределяет дальнейшее проведение обширных исследований по отмеченной тематике. Равномерный подвод энергоносителя позволяет не только улучшить качество готовой продукции, но и сократить продолжительность процесса термообработки. Последнее позволит улучшить экономические показатели работы не только

теплотехнологической установки, но и в целом лесопромышленного предприятия.

Библиографический список

1. Данилов О.Л., Леончик Б.И. Экономия энергии при тепловой сушке, - М.: Энергоатомиздат, 1986. -136с.
2. Платонов А.Д. Интенсификация процесса сушки древесины трудносохнущих пород [Текст] : автореферат диссертации на соискание ученой степени д-ра техн. наук :05.21.05 / А. Д. Платонов. - Воронеж, 2006.
3. Гороховский А.Г. Энергосберегающая технология камерной сушки пиломатериалов / Изв. СПбЛТА. Вып. 173. СПб., 2005.
4. Богданов Е.С., Козлов В.А. Справочник по сушке древесины, - М.: Лесн. пром-сть, 1990.- 304с.
5. Федяев А.А. Энергосбережение при сушке пиломатериалов за счет кинетической оптимизации // Вестник «КрасГАУ». – 2008. - №7. - С. 228-232.
6. Федяева В.Н., Новиков И.С. Эффективность работы камерных сушильных установок. Современная техника и технологии. XV Международная научно- практическая конференция студентов и молодых ученых 4-8 мая 2009г.- Томск: «ТПУ», 2009.

Сведения об авторах

ФИО Федяев Александр Артурович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4618-5907
e-mail Vends1@mail.ru

ФИО Федяева Валентина Николаевна
Организация ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»
Адрес организации 665709, г. Братск, ул. Макаренко д. 40, Россия
SPIN-код –
e-mail vends1@mail.ru

Аннотация

Представлены результаты расчетных исследований на основе разработанного программного обеспечения по определению продолжительности термообработки пористых материалов при различных переменных факторах. Организация контроля продолжительности сушки, равномерного подвода энергоносителя позволит улучшить экономические показатели работы не только теплотехнологической установки, но и в целом лесопромышленного предприятия.

Ключевые слова: теплотехнологическая установка, расчетная программа, влагосодержание, расчетные исследования, продолжительность сушки.

УДК 620.9:662.6

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.33.31

Экспериментальные исследования аэродинамических характеристик рабочей камеры сушилки

Федяев А.А.

Введение.

Восточная Сибирь по запасам лесных ресурсов занимает третье место среди регионов России. Земли лесного фонда занимают более 90% ее территории. Запас древесины составляет порядка 10 млрд. куб. м [1]. Здесь расположены и работают более 150 средних и крупных и более 2 тыс. мелких предприятий лесопромышленного комплекса. Технический износ рабочего оборудования на предприятиях в настоящее время значительный и находится в пределах от 60 до 80%. Необходимо обновление производственных цехов современным оборудованием, модернизация старых установок. Особое внимание следует уделять лесосушильным цехам, как наиболее ответственным за качество выпускаемой продукции.

В конвективных сушильных установках (КСУ) с продольной циркуляцией энергоносителя, как правило, наблюдается неравномерное высушивание пиломатериалов по высоте штабеля [2]. Это влечет за собой повышенный технологический брак продукции и, соответственно, увеличение экономических затрат на процесс сушки в целом прежде всего за счет увеличения продолжительности процесса термовлажностной обработки пилопродукции.

Содержание статьи.

Экспериментальное исследование с целью дальнейшего анализа аэродинамической ситуации проведено в рабочей камере крупногабаритной и высокопроизводительной КСУ ЦНИИМОД-49, производства фирмы «Уралдрев-ИНТО» [3]. Аэродинамическая схема камеры представлена на рис. 1 [4].

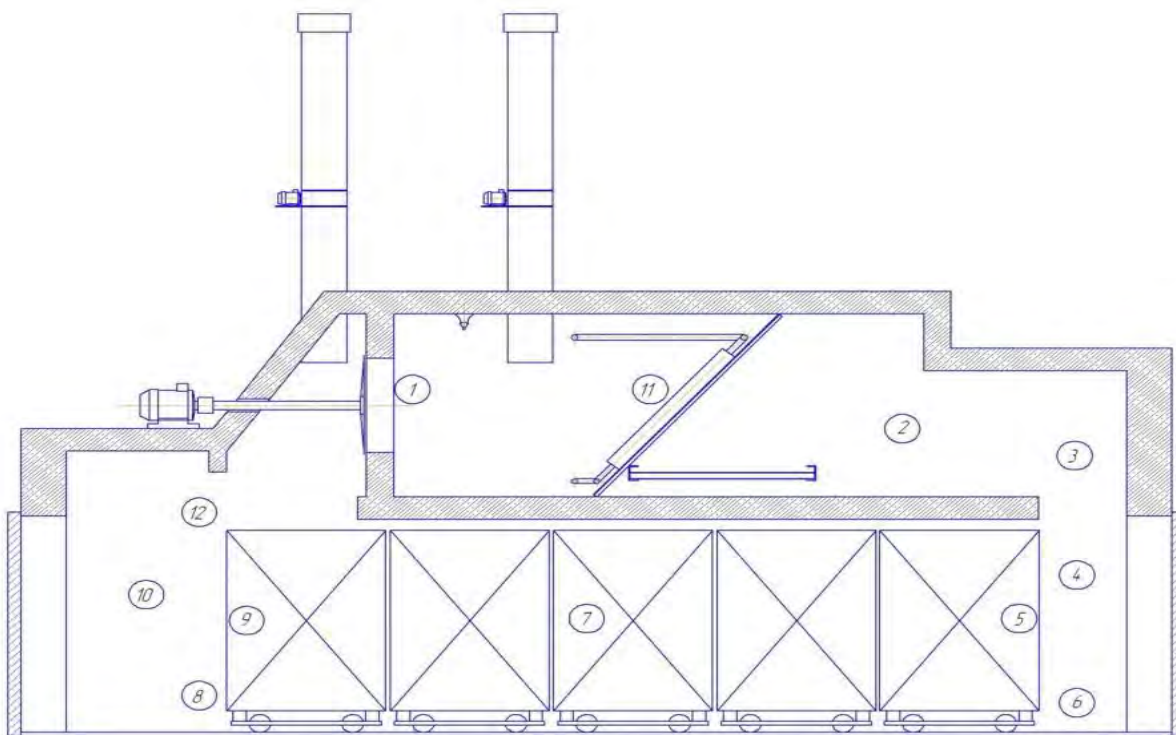


Рис. 1. Аэродинамическая схема сушильной камеры ЦНИИМОД-49: 1 – вентилятор; 2 – верхний циркуляционный канал; 3, 6, 8, 12 – повороты под углом 90°; 4, 10 – боковые каналы; 5 – вход в штабель; 7 – штабель; 9 – выход из штабеля; 11 – калорифер.

Для исследования аэродинамического совершенства камеры был изготовлен макет СК в масштабе 1:25. В рабочей камере установки в зонах 2, 3, 4, 5, 6 (см. рис. 1) располагались точки замеров скорости потока рабочего агента по вертикальным сечениям.

Для измерения скорости потока использовался микроанометр ММН-240 с миниатюрным насадком Пито - Прандтля. Направление потока энергоносителя в рабочей камере определялось с помощью флажка [5].

Для расчета динамических характеристик рабочего агента по полученным в ходе эксперимента данным, была разработана программа «Эксперимент». На рисунке 2 в верхней части показано окно программы с примером расчета скоростей энергоносителя и представления полученных эпюр скоростей по различным сечениям (нижняя область).

Разработанная программа позволяет вводить все необходимые исходные данные (давление окружающего воздуха, начальную и конечную температуру эксперимента, измеренное динамическое давление потока и др.). Также в программе имеется возможность сохранения полученных результатов и вывода на печать.

Анализ полученного исходного профиля скорости, в частности, в зоне подачи сушильного агента КСУ показывает значительную неравномерность распределения значений векторов скорости по высоте, например, точки 8 и 9 в

верхней (рис.2, зона обратного течения) и точки 17, 18, 19 в нижней части сушильной камеры.

Так как величина энергоподвода к сушимому пористому материалу однозначно зависит от скорости энергоносителя, то, очевидно, в отмеченных зонах будет наблюдаться отклонение конечного влагосодержания от заданного, что в свою очередь является одной из причин технологического брака при сушке пиломатериала. К тому же в верхней зоне КСУ наблюдается не только понижение скорости энергоносителя, но и застойная зона с обратными векторами скорости.

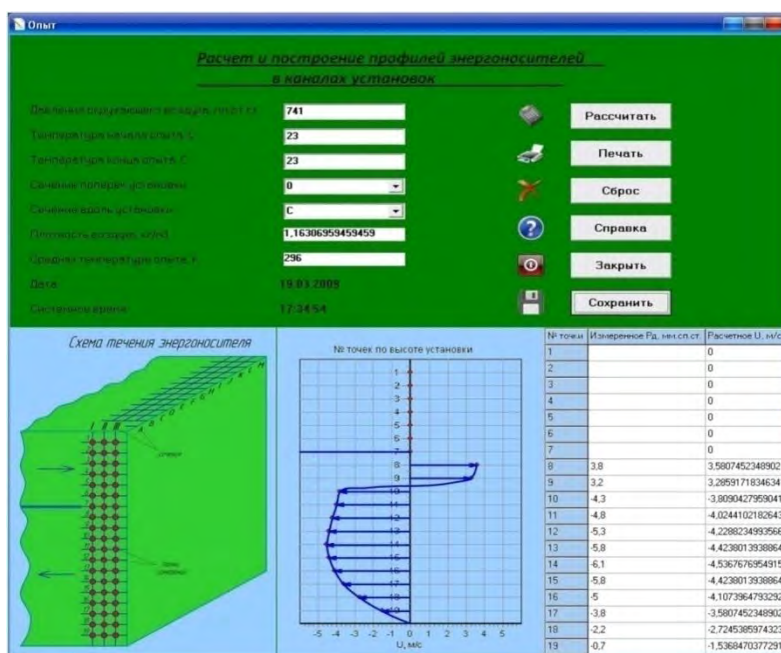


Рис. 1. Окно программы «Эксперимент» для представления исходных и расчетных данных

Для выравнивания потока энергоносителя по высоте была проведена серия экспериментов по подбору конфигурации, количества и местоположения специальных распределительных устройств. Результаты проведенной серии экспериментальных исследований достаточно обширны, поэтому будут представлены несколько позже [6, 7].

Заключение.

Равномерный подвод энергоносителя позволяет не только улучшить качество готовой продукции, но и сократить продолжительность процесса сушки. Это в свою очередь однозначно отразится на экономических показателях работы не только сушильной установки, но и в целом лесопромышленного предприятия.

По результатам экономической оценки эффективности установки распределяющих устройств отмечается (как показали дальнейшие

исследования, их анализ и выполненные расчеты), что технологический брак пиломатериалов лесосушильного цеха, состоящего из пяти камер, сократился на 5% и более или порядка 1600 м³/год кондиционной продукции. Продолжительность работы КСУ в течение одного периода сушки вместо 26,2 – 40 часов в разных частях штабеля вследствие выравнивания энергоподвода к материалу стала составлять 27 часов, соответственно приведет к снижению потребления электрической и тепловой энергии.

Результаты исследования могут быть использованы в лесосушильном производстве.

Библиографический список

1. Данилов О.Л., Леончик Б.И. Экономия энергии при тепловой сушке, - М.: Энергоатомиздат, 1986. -136с.
2. Федяев А.А. Энергосбережение при сушке пиломатериалов за счет кинетической оптимизации – Вестник «КрасГАУ», 2008, №1(22). С.228-232).
3. Богданов Е.С., Козлов В.А., Пейч Н.Н. Справочник по сушке древесины – М.: Лесная промышленность, 1981. – 192с.
4. Лебедев П.Д. Расчет и проектирование сушильных установок – М. – Л.: Госэнергоиздат, 1962. – 320с.
5. Федяев А.А. Промышленные теплоэнергетические системы. Лабораторный практикум – ГОУ ВПО «БрГУ», 2003. – 164с.
6. Смагин В.В. Использование нестационарного энергоподвода для интенсификации процесса сушки плоских материалов: Автореф. дис.... канд. техн. наук. - М., 1984. - 20 с.
7. Федяев А.А. Оптимизация тепловой сушки пиломатериалов в условиях поперечной неравномерности. Труды 1-й Международной научно-практической конференции «Современные энергосберегающие тепловые технологии (сушка и термовлажностная обработка материалов)». В 4 томах. Т.2. М.: МГАУ, 2002. с. 168 – 171.

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	Vends1@mail.ru

Аннотация

Представлены результаты экспериментальных исследований неравномерных профилей в крупногабаритных сушильных камерах, в том числе и с отрицательными значениями векторов, и их влияние на продолжительность процесса сушки пиломатериалов. Дана оценка величины

увеличения продолжительности термообработки материалов с целью получения их кондиционных параметров и снижения технологического брака.

Ключевые слова: аэродинамическая обстановка, сушка пиломатериалов, экспериментальные исследования, продолжительность термообработки.

УДК 674.047

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.33.31

6. ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ

Разработка модели управления кондиционером на основе нечеткой логики

Шифрин Б.М., Елисеев И.В., Шалабот А.И., Пендриков Е.С.

Введение

Во многих помещениях устанавливают кондиционеры, которые позволяют охлаждать или нагревать воздух. Наиболее комфортные условия создаются при некоторой стабильной температуре воздуха. Задача состоит в том, чтобы сделать регулировку кондиционера автоматической, обеспечивая постоянную температуру воздуха в помещении.

Опыт использования кондиционеров показывает, что процесс охлаждения или нагревания воздуха в помещении обладает некоторой инерционностью: после включения режима «холод» происходит нагнетание холодного воздуха, в связи с чем температура воздуха постепенно падает. При этом в момент отключения этого режима температура продолжает падать в течение небольшого, но конечного промежутка времени. Аналогичная картина наблюдается при включении и отключении режима «тепло».

Известно, что классические ПИД-регуляторы зачастую имеют недостаточно хорошие показатели качества при управлении нелинейными системами. Характеристики регуляторов в некоторых случаях можно улучшить с помощью методов нечеткой логики, нейронных сетей и генетических алгоритмов [1-5].

Содержание статьи.

Предположим, что в рассматриваемой модели кондиционера включение режима «холод» осуществляется поворотом регулятора влево, включение режима «тепло» осуществляется поворотом регулятора вправо относительно некоторой точки, в которой кондиционер выключен. Чтобы учесть эту особенность процесса управления кондиционером и исключить дополнительные затраты, связанные с частым включением и выключением указанных режимов, необходимо рассматривать в качестве выходного параметра не только температуру воздуха в помещении, но и скорость ее изменения (рис. 1).

В этом случае эмпирические знания о рассматриваемой проблемной области могут быть представлены в форме эвристических правил, которые применяются в случае ручного регулирования температуры воздуха в помещении с кондиционером. Для формирования базы правил систем

нечеткого вывода необходимо предварительно определить входные и выходные лингвистические переменные, а также их термы.

Очевидно, что в качестве одной из входных лингвистических переменных следует использовать температуру воздуха в помещении β_1 – «температура воздуха», а в качестве второй входной лингвистической переменной β_2 – «скорость изменения температуры воздуха». В качестве выходной лингвистической переменной выберем «угол поворота регулятора» включения режимов «холод» и «тепло» кондиционера β_3 .

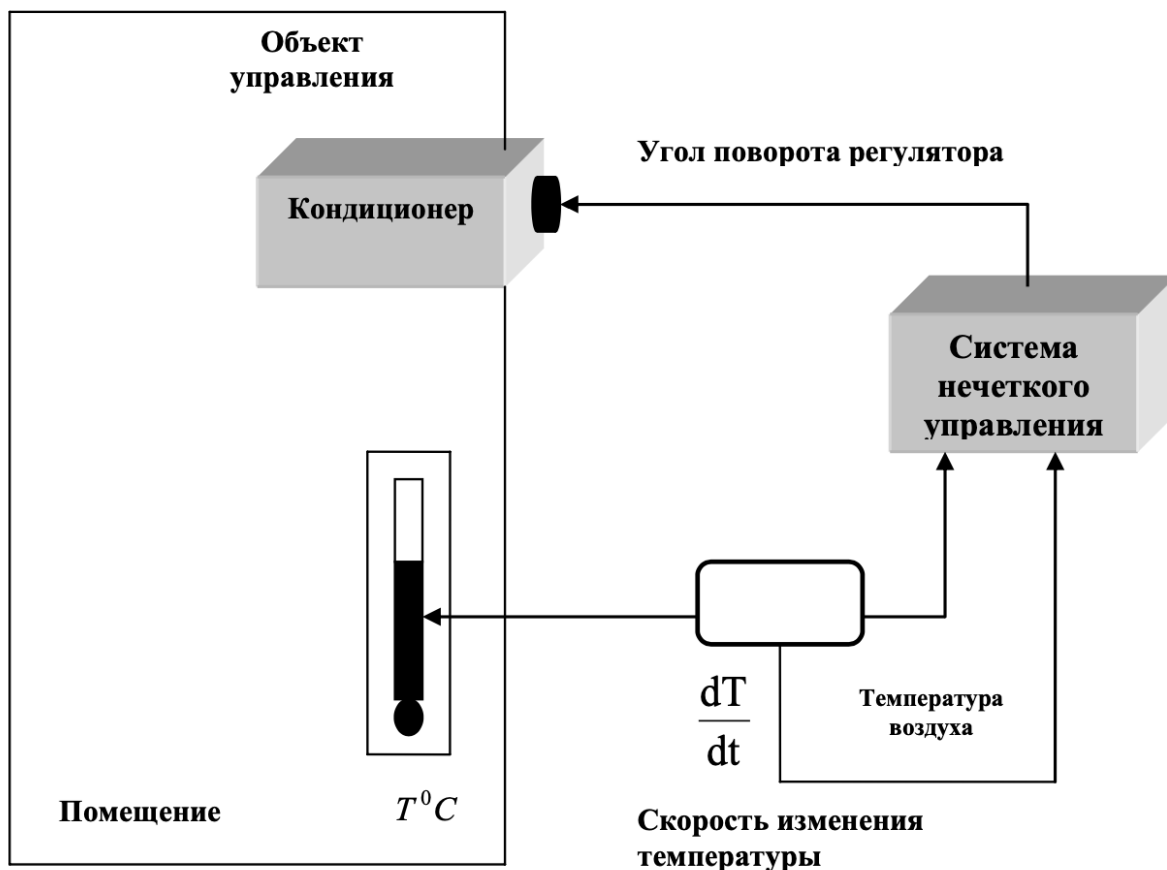


Рис. 1. Структурная схема управления кондиционером

Для основных термов лингвистических переменных используем общепринятые сокращения:

NB – Отрицательное большое;

NM – Отрицательное среднее;

NS – Отрицательное малое;

ZN – Отрицательное близкое к

нулю;

Z – Нуль, близкое к нулю;

ZP – Положительное близкое к

нулю;

PS – Положительное малое;

PM – Положительное среднее;

PB – Положительное большое.

В этом случае система нечеткого вывода будет содержать 15 правил нечётких продукций следующего вида:

Правило 1: IF β_1 IS *PB* AND β_2 IS *PS* THEN β_3 IS *NB*

Правило 2: IF β_1 IS *PB* AND β_2 IS *NS* THEN β_3 IS *NS*

Правило 3: IF β_1 IS *PS* AND β_2 IS *PS* THEN β_3 IS *NM*

Правило 4: IF β_1 IS *PS* AND β_2 IS *NS* THEN β_3 IS *Z*

Правило 5: IF β_1 IS *NB* AND β_2 IS *NS* THEN β_3 IS *PB*

Правило 6: IF β_1 IS *NB* AND β_2 IS *PS* THEN β_3 IS *PS*

Правило 7: IF β_1 IS *NS* AND β_2 IS *NS* THEN β_3 IS *PM*

Правило 8: IF β_1 IS *NS* AND β_2 IS *PS* THEN β_3 IS *Z*

Правило 9: IF β_1 IS *PB* AND β_2 IS *Z* THEN β_3 IS *NM*

Правило 10: IF β_1 IS *PS* AND β_2 IS *Z* THEN β_3 IS *NS*

Правило 11: IF β_1 IS *NB* AND β_2 IS *Z* THEN β_3 IS *PM*

Правило 12: IF β_1 IS *NS* AND β_2 IS *Z* THEN β_3 IS *PS*

Правило 13: IF β_1 IS *Z* AND β_2 IS *PS* THEN β_3 IS *NS*

Правило 14: IF β_1 IS *Z* AND β_2 IS *NS* THEN β_3 IS *PS*

Правило 15: IF β_1 IS *Z* AND β_2 IS *Z* THEN β_3 IS *Z*

Заключение.

В данной статье предлагается подход к разработке нечеткой модели управления кондиционером с целью улучшить качество регулирования относительно классических ПИД-регуляторов.

Библиографический список

1. Романов В.В., Шифрин Б.М. Разработка модели процесса контроля качества поверхности древесностружечных плит на основе нечеткой логики// В сборнике: Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы Международной научно-технической конференции. Вологодский государственный университет; Ответственный редактор С.М. Хамитова. 2018. С. 115-118.
2. Шифрин Б.М. Оптимизация процесса шлифования на базе нечеткой логики // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: материалы I международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 25 января 2018 года. – Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. – С. 8-15.
3. Шифрин Б.М. Разработка модели процесса контроля качества поверхности древесностружечных плит на основе нечеткой логики // Автоматизированное проектирование в машиностроении. 2017. №5. – С. 39-43.
4. Шеховцов О.И., Шифрин Б.М. Разработка модели управления варочной установкой на основе нечеткой логики // Известия СПбГЭТУ ЛЭТИ. 2008. №1. С. 8-14.
5. Петров С.Ю., Шифрин Б.М. Модель управления установкой для получения целлюлозы на основе нечеткой логики // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. №2. С. 7.

Сведения об авторах

ФИО Шифрин Б.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5125-4307
e-mail shifrinb@mail.ru

ФИО Елисеев И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4541-3386
e-mail yeliseyef@yandex.ru

ФИО Шалабот А.И.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail idxy@bk.ru

ФИО Пендриков Е.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail pendrikov_86@mail.ru

Аннотация

Предложен подход к разработке модели процесса кондиционирования воздуха на основе нечеткой логики. Целесообразность применения методов нечеткой логики для управления техническими объектами обусловлена тем, что классические ПИД-регуляторы зачастую имеют недостаточно хорошие показатели качества при управлении нелинейными системами.

Ключевые слова: кондиционер, нечеткая логика, база правил, лингвистические переменные, термы.

УДК 681.5.017

Разделы рубрикатора ГРНТИ 27.35.33

Разработка модели и установки для измерения обратного базо-эмиттерного тока

Иванов Н.М., Алексеева Е.А., Иванова И.В.

Введение

Биполярный транзистор представляет собой трехслойную полупроводниковую структуру с чередующимся типом электропроводности слоев и содержит 2 р-п перехода. В зависимости от чередования слоев существует транзисторы р-п-р и п-р-п. В качестве исходного материала для получения трехслойной структуры используют германий и кремний [1].

При создании электрических приборов, либо схем, возникает необходимость в выборе компонентов, в данном случае биполярного транзистора, которые будут иметь очень малые токи утечки, а значит лучшую работоспособность и меньшие энергозатраты схемы либо прибора в целом, ведь чем меньше нужно использовать энергии для обработки потерь при работе, тем производительней и экономней становится прибор, либо схема.

Цели и задачи.

Целью данной исследовательской работы является разработка установки для измерения обратного тока базо-эмиттерного перехода биполярного транзистора структуры п-р-п.

Содержание статьи.

Схема установки представлена на рис. 1. Она состоит из: операционного усилителя (ОУ), резистора с сопротивлением $R = 10^7$ Ом, источника питания (Е), ключа (кнопки) S1, и вольтметра. В схеме используется усилитель на ОУ в такой вариации, так как в цепи будут проходить токи очень малых величин ($I_{изм} < 10$ мкА) и можно было бы использовать резисторы, которые в свободном доступе ($R = 10^7$ Ом). У усилителя нужно подобрать отношения сопротивлений $R2/R1 = 99$, чтобы усиление напряжения при этом было в 100 раз больше. Это необходимо для того, чтобы компенсировать использование сопротивлений меньшего размера. Также операционный усилитель имеет менее жесткие требования к входному сопротивлению. Переключатель S1 необходим в схеме для того, чтобы операционный усилитель является не идеальным. У него есть проблема – наличие смещение внутреннего нуля, то есть при отключенном источнике ожидается ноль, но он не идеален и дает значение, отличное от нуля.

И чем выше усиление, тем выше значение смещение нуля, это происходит из-за протекания токов смещения в схеме, притом в таких величинах, что может даже приглушать ток, который измеряется.

В данном случае цель – найти обратный ток биполярного транзистора BCW60C. Для создания данной установки, необходимо: источник напряжения марки YINUA 1502DD+, который сможет обеспечить подачу напряжения равное 5 В и подачу тока равное 20 мкА. Резистора CF-25 [2] для резистора R на схеме.

Резисторы R_2 и R_1 подбираются таким образом, чтобы отношение составило $R_2/R_1 = 99$. В качестве ОУ, можно воспользоваться усилителем LM358ADR [4]. В разработанной цепи необходим вольтметр, позволяющий измерять постоянные напряжения порядка 5 В с точностью 0,2 В. В качестве вольтметра подойдет вольтметр GDM-8245 [5].

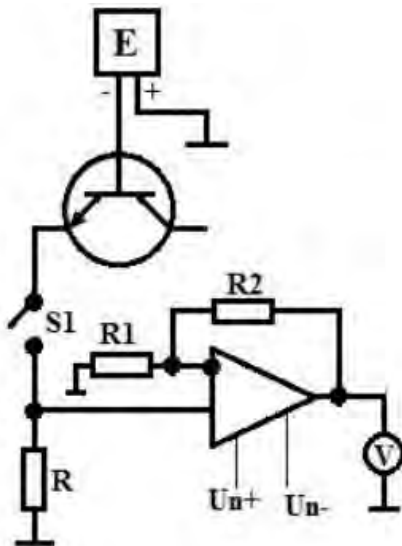


Рис. 1. Установка для измерения обратного тока базно-эмиттерного перехода
Результаты и обсуждение исследований.

Соответственно для понимания результата работы предложенной схемы промоделируем установку при замкнутом и разомкнутом ключе в программе Proteus (рис. 2 и 3).

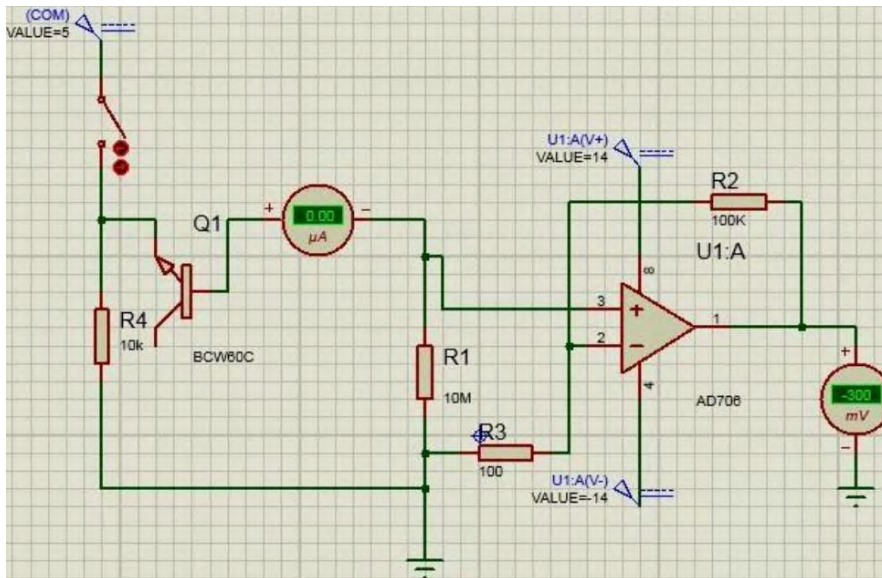


Рис. 2. Схема установки при разомкнутом ключе

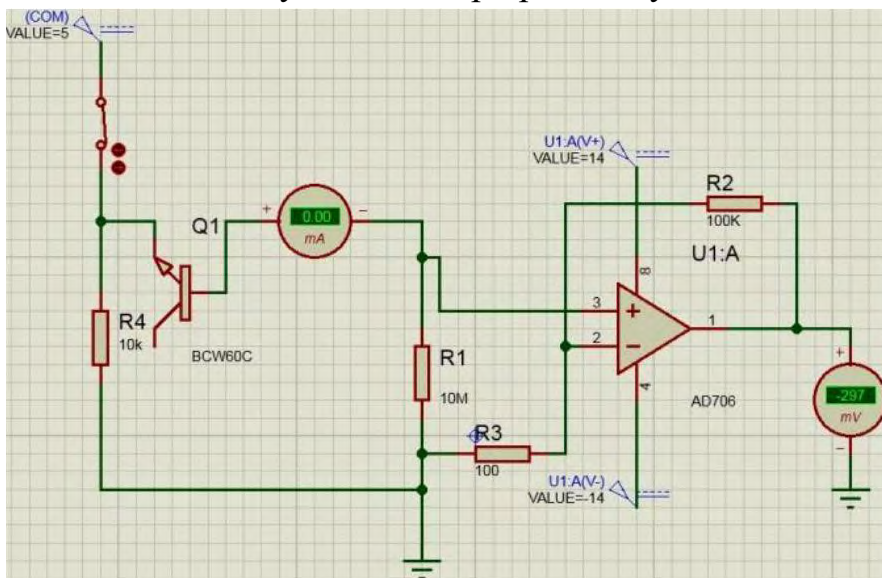


Рис. 3. Схема установки при замкнутом ключе

После полученных результатов, рассчитаем значение обратного тока $I_{обр}$, когда к схеме подключен транзистор BCW60-C [3]:

$$\Delta U = (-297) + 300 = 3 \text{ mV}.$$

Общий вид формулы для вычисления разности потенциалов:

$$\Delta U = I_{обр} \cdot R(1 + R_2/R_1), \quad (1)$$

где R_2/R_1 – коэффициент усиления, $R_2/R_1 = 100$; R – сопротивление в схеме, $R = 10^7$ Ом.

Отсюда:

$$I_{обр} = \frac{\Delta U}{R \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)} = \frac{0,003}{10^7 \cdot (1 + 100)} = 3 \cdot 10^{-12} \text{ A} = 3 \text{ пА}.$$

Соответственно, при создании физической модели данной установки, результаты нахождения обратного тока, должны быть примерно одинаковы.

Заключение.

Была разработана установка для измерения обратного тока базо-эмиттерного перехода биполярного транзистора структуры n-p-n. Особенности данного измерения в том, что данный ток очень невелик и его не всегда можно обнаружить, поэтому в зависимости от транзистора, у которого измеряются значения обратного тока, необходимо пользоваться высокочувствительными вольтметром или амперметром. И самое главное достоинство схемы в том, что ее можно собрать из разных комплектующих в зависимости от бюджета и доступности компонентов, например, можно заменять вольтметр, источник питания, резисторы и т.д.

Библиографический список

1. *Забродин, Ю.С.* Промышленная электроника: Учебник для вузов / Ю.С. Забродин. – Москва: Альянс, 2008. – 42 с.
2. Резистор углеродистый CF-25 // Chipdip. – URL: <https://www.chipdip.ru/product/0/10971>. – (дата обращения: 14.12.2020).
3. Транзистор BCW60C // Chipdip. – URL: <https://tmelectronics.ru/product/BCW60CE6327/>. – (дата обращения: 15.12.2020).
4. Двухканальный операционный усилитель LM358ADR // Chipdip. URL: <https://www.chipdip.ru/product/lm358adr>. – (дата обращения: 15.12.2020).
5. Вольтметр GDM-8245 // Chipdip – URL: <https://www.chipdip.ru/product/gdm-8245>. – (дата обращения: 15.12.2020).

Сведения об авторах

ФИО	Иванов Н.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес организации	190000, Б. Морская, д.67, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8865-8699
e-mail	iv-nikola@mail.ru
ФИО	Алексеева Е.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	olgakameneva@gmail.com
ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

Аннотация

Разработана установка для измерения обратного тока базо-эмиттерного перехода биполярного транзистора структуры n-p-n.

Ключевые слова: обратный ток базо-эмиттерного перехода; биполярный транзистор; сопротивление; напряжение, промышленная электроника.

УДК 621.317.31

Разделы рубрикатора ГРНТИ 59.29.29

Технические решения при создании лазерного станка с числовым программным управлением

Иванов Н.М., Алексеева Е.А., Иванова И.В.

Введение.

Станки с числовым программным управлением (ЧПУ) – это автоматизированные станки-роботы, которые могут производить операции по заданной программе без непосредственного участия человека. Такие станки являются важной частью современной автоматизации, применение которой необходимо для сохранения рентабельности и получения прибыли предприятиями, так как является важным условием обеспечения качества и скорости производства.

Такие станки делятся на модели портального типа и с подвижным столом. В первом случае поле это несущая часть станка, на котором сверху по высокоточным рельсам катается балка с осью X и Z. Таковую конфигурацию обычно применяют в бюджетных (относительно не высокоточных до 0.1 мм) моделях и моделях с большим рабочим полем. Отсюда кстати правило точности станков. Станки ЧПУ предназначены для автоматизации производственных процессов и ускорения этапов обработки с минимизацией расходов. Но это касается только продукции в больших объемах, где все этапы максимально оптимизированы. Если изделия штучные, то их себестоимость будет в разы дороже. Потому что под каждое изделие требуется создать цифровой чертеж или модель, потом сделать код для машины, подобрать материал в нужный размер и решить, как закрепить заготовку с точным позиционированием на столе станка. Одним словом – творческая работа. Поэтому на потоковом производстве применяют несколько станков с ЧПУ, каждый из которых

отвечает за одну или несколько однотипных операций. Так и получаются автоматизированные производства. Самое интересное, что оператор опять же может быть один. Зависит все от циклов обработки, то есть основная цель – это максимальная прибыль при минимальных затратах [1, 2].

В данной статье предоставлен вариант изготовления непрофессионального лазерного ЧПУ, который сможет выполнять необходимые задания по гравировке и, главное, вырезке необходимого изделия в промышленных масштабах, в частности, для лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Целью работы является рассмотреть возможность создания лазерного ЧПУ, который будет прост в конструкции и сборке, собираться из доступных по цене комплектующих, но с условием хорошей работоспособности и правильности выполнения поставленных задач.

Методика исследования.

Для реализации поставленной цели предлагается техническое решение путем использования программируемой платы на базе «Arduino»

Состав компонентов для создания установки:

- 2 каретки DVD, CD приводов;
- Arduino nano;
- драйвера A4988;
- транзисторы IRFZ44N;
- стабилизатор L7805CV;
- лазер 250 mW;
- блок питания.

Обзор наличия комплектующих для данного станка не вызовет у пользователя никаких сложностей в сборке данного станка. Также для удобства монтажа элементов, можно разработать плату из стеклотекстолита. Дополнительно возникает вопрос с корпусом, на который будет крепиться выше перечисленные компоненты. Здесь предлагается два способа решения вопроса:

1. самый простой и быстрый – воспользоваться 3d принтером. Для решения этой задачи уже разработаны и имеются готовые 3d-компоненты, по которым можно напечатать необходимые детали для сборки корпуса ЧПУ;
2. творческий и в некоторой степени более бюджетный – это сборка из подручных средств. Одним из достоинств данного метода является то, что можно выбрать любые доступные материалы для создания деталей и сборки (металл, дерево и др.) и также проявить творческие возможности и сделать собственный дизайн корпуса установки.

В данной статье будет рассматриваться первый способ – печать на 3d принтере. С его помощью именно «печатаем» комплектующие, после чего собирается рама установки, при этом выбор крепежа любой от склеивания до скручивания винтами, саморезами и прочее.

У рамы предусматривается столик, на котором будет лежать материал, на котором будет выполняться гравировка. К самой пластине необходимо прикрепить пластиковую деталь, которая предварительно распечатана, и она будет двигать пластину по шаговому двигателю. Здесь и раскрывается смысл двух кареток DVD, CD приводов. От них нам используются два шаговых двигателя и четыре направляющих оси (рис. 1).

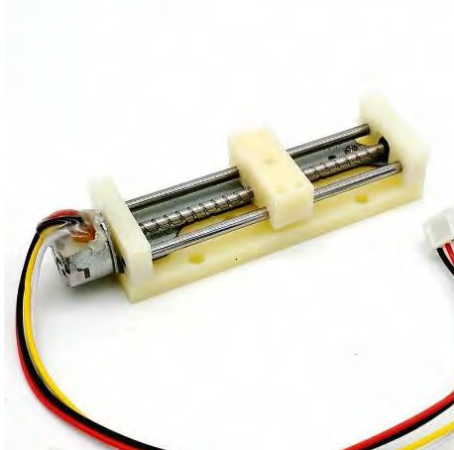


Рис. 1. Шаговый двигатель от каретки DVD, CD приводов [3]

В конечном счете, после сборки всех комплектующих получится несложная в сборке и эксплуатации площадка (рис. 2).



Рис. 2. Результат собранной площадки
После чего устанавливаем площадку на раму (рис. 3).



Рис. 3. Установка площадки на раму станка

После этого устанавливается лазер на второй шаговый двигатель, который установлен на направляющие каретки сверху рамы. А дальше начинается программирование платы Arduino nano и настройка 2-х драйверов A4988 для управления двигателями. Настройка драйверов заключается в том, что необходимо регулировать резисторный регулятор под необходимые значения. От этих значений зависит точность гравировки и минимизация пропуска шага. Общая схема подключения всех элементов представлена на рис. 4.

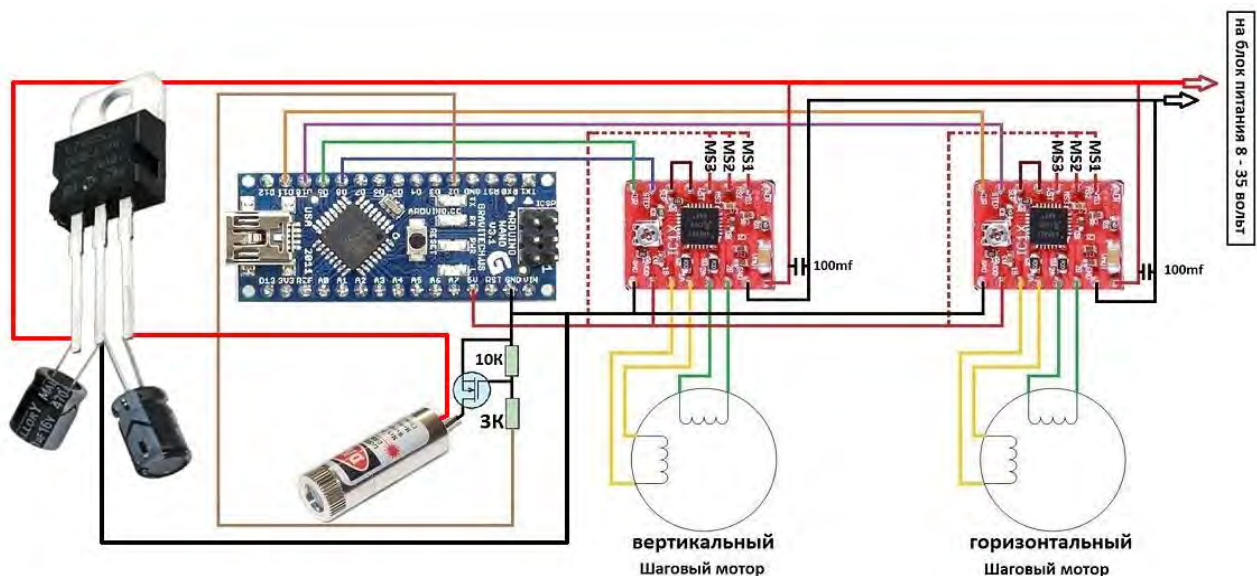


Рис. 4. Общая схема подключения элементов станка

Запитывается схема от блока питания, который выдает около 12 В и 3 А. В данном случае можно использовать любой блок питания, который доступен и обладает данными характеристиками.

Код, для прошивки платы Arduino представлен ниже:

```
intmotorPins[3][2] = {{8,9},{10,11},{12, 13}};
intcount; //подключение первого мотора
intcount2[3] = {0,0,0}; //пин STEP на пин ардуины D8
intdelayTime = 150; //пин DIR на пин ардуины D9
intval = 0;
introt=0; //подключение второго мотора
int incomingByte = 0; //пин STEP на пин ардуины D10
int sign=1; //пин DIR на пин ардуины D11
ints_p=40;
voidsetup() { //Лазер подключается на пин D2
    inti;
    Serial.begin(57600); //Эта скорость должна совпадать со скоростью в программе
    pinMode(2, OUTPUT);
    for (i=0; i<3; i++) {
        for (count = 0; count < 2; count++) {
            pinMode(motorPins[i][count], OUTPUT); //установка режима работы цифровых
pin'ов Ардуино
        }
    }
    delayTime=150; //задержка между шагами по умолчанию
}
void moveForward(int sm) {
    digitalWrite(motorPins[sm][1], HIGH);
    digitalWrite(motorPins[sm][0], HIGH);
    digitalWrite(motorPins[sm][0], LOW);
}
void moveBackward(int sm) {
    digitalWrite(motorPins[sm][1], LOW);
    digitalWrite(motorPins[sm][0], HIGH);
    digitalWrite(motorPins[sm][0], LOW);
}
void delayMicros(long wt){
    unsigned long mls;
    unsigned int mks;
    mls=(unsigned long)(wt / 1000);
    mks=(unsigned int)(wt % 1000);
    if (mls>0) delay(mls);
    if (mks>0) delayMicroseconds(mks);
}
void MoveSM(long x, long y, long z) {
    long c[3], c2[3];
    double c1[3], d[3];
    long m, i;
    boolean flg;
    long ms;
    long d1, d2, d3, d4, t, dt;
    c[0] = x;
    c[1] = y;
```

```

c[2] = z;
m = 1;
for (i=0; i<2; i++) {
    if (m < abs(c[i])) m = abs(c[i]);
}
for (i=0; i<2; i++) {
    c1[i] = 0;
    d[i] = 1.0 * c[i] / m;
    c2[i] = 0;
}

flg = false;

for (i=0; i<2; i++) {
    if (abs(c1[i]) < abs(c[i])) flg=true;
}
t=m;

if (z>0 && t>0) {
    if (z>=delayTime) {
        dt=z;
        d1=s_p;
        d2=1;
        d3=0;
        if (d1==d2) d4=z/2; else d4=z;
    } else {
        dt=delayTime;
        d3=dt*s_p*(dt-z)/dt/2;
        d2=d3/dt;
        d1=s_p-d2;
        d3=d3-d2*dt;
        d2=d2+1;
        if (d1==d2) d4=dt/2-d3; else d4=dt-d3;
    }
} else {
    dt=delayTime;
    d1=-1;
    d2=-1;
    d3=0;
    d4=0;
}
while (flg) {
    flg=false;
    for (i=0; i<2; i++) {
        if (abs(c1[i]) < abs(c[i]))
            c1[i] += d[i];
        if (abs(c1[i]) - abs(c2[i]) >= 0.5) {
            if (c[i]>0) {
                c2[i]++;
                moveForward(i);
            }
        }
    }
}

```

```

        } else if (c[i]<0) {
            c2[i]--;
            moveBackward(i);
        }
    }
    if (abs(c1[i]) < abs(c[i])) flg=true;
}
if (z>0) {
    if (t==d1) {
        delayMicros(d3);
        digitalWrite(2, HIGH);
        delayMicros(d4);
    }
    if (t==d2) {
        delayMicros(d4);
        digitalWrite(2, LOW);
        delayMicros(d3);
    }
    if (t!=d1 && t!=d2) {
        delayMicros(dt);
    }
} else {
    delayMicros(dt);
}
t--;
}
}

void loop() {
    if (Serial.available() > 0) {
        long c[5]={0,0,0,0,0};
        int i;
        sign=1;
        i=0;
        incomingByte = Serial.read();
        while (incomingByte!=';') {
            if (c[i]==0) {
                if (incomingByte=='-')
                    sign=-1;}
            if (incomingByte=='') {
                c[i]*=sign;
                sign=1;
                i++;
            } else if (incomingByte>='0' && incomingByte<='9') {
                c[i]=c[i]*10+incomingByte-'0';
            }
        }
        while (Serial.available() == 0) {
            delayMicroseconds(1);
        }
        incomingByte = Serial.read();}
}

```

```

    c[i]*=sign;
    if (c[3]>0) s_p=c[3];
    if (c[4]>0) delayTime=c[4];
    MoveSM(c[0],c[1],c[2]);
    Serial.println("OK");
  }
  else
    delayMicroseconds(1);
}

```

Данный скетч имеет дополнительные комментарии в самой программе по подключению элементов к портам, для исключения ошибок в сборке.

После этого запускается программа «ArduinoЧПУ», загружается изображение, которое необходимо выгравировать, указывается количество шагов на пиксель. Чтобы указать размеры изображения – данная величина должна быть целой, то есть 6; 5; 2; 1 и т.д. Выставляется время задержки – это время, которое лазер будет прожигать каждую точку. Чем больше время, тем дольше будет задерживаться лазер и может прожигать более толстую заготовку. После выставляются оси x и y в крайнее положение (лазер в крайнее левое положение, а столик максимально назад от лазера) и укладывается заготовка на столик. Нажимается в программе кнопка «гравировать» и идет процесс гравировки на заготовке.

Данная установка работает следующим образом. В программе загружается изображение, которое необходимо гравировать на материале. После запускается программа кнопкой «гравировать» и начинается процесс гравировки изображения, в частности логотипы компаний по продаже леса, сборке деревянных конструкций, маркировка ценной древесины и т.п. На рис. 5 можно увидеть общий вид собранной установки и процесс гравирования на материале (в данном случае куске пластика).



Рис. 5. Общий вид установки и процесс гравировки изображения на материале

Заключение.

В результате исследовательской работы, разработан лазерный ЧПУ, который прост в конструкции и сборке, состоящий из доступных по цене комплектующих, но с условием хорошей работоспособности и правильности выполнения поставленных задач. Одно из главных преимуществ установки в том, что можно брать совершенно разные комплектующие и переделывать станок под необходимые задачи, например, замена лазера, увеличение рамы станка, для того, чтобы гравировать более крупные по габаритам предметы. В частности, можно выделить ряд вопросов, которые можно в перспективе разрабатывать и совершенствовать:

- установка некой «вытяжки» либо обдува лазера, с целью увеличения точности и контроля за гравировкой, так как в процессе работы лазера по материалу выделяется дым, который может рассеивать лазерное излучение (особенно если гравировка происходит крупной детали и дыма в таком случае будет сравнимо больше, чем при работе с малым предметом) и соответственно ухудшат качество гравировки;
- установка магнитов под площадку, на которой находится материал. Если под площадку приклеить несколько магнитов, то для лучшей гравировки детали можно зафиксировать деталь сверху, еще несколькими магнитами, которые будут притягиваться к магнитам под площадкой, создавая хорошую фиксацию при движении площадки во время работы установки;
- установка программно и физически оси Z, а именно добавить в существующую программу работу лазера по оси Z, а также установки на раму дополнительного лазера, который будет гравировать именно по оси Z. Это даст возможность гравировки уже в трех плоскостях.

Библиографический список

1. Что означают эти 3 буквы ЧПУ // Мастерская U-CNC. – URL: <https://zen.yandex.ru/media/id/5f5c667393cc6c72ff2ce3c3/chto-oznachaiut-eti-3-bukvy-chpu-5f5ce790354535081efc0538>. – (дата обращения: 18.01.2021).
2. Классификация станков с ЧПУ, их виды и возможности // 3Dshop. URL: <https://top3dshop.ru/blog/klassifikatsija-stankov-s-chpu.html>. – (дата обращения: 19.01.2021).
3. Шаговый двигатель. URL: https://image.dhgate.com/0x0s/f2-albu-g9-M01-30-B1-rBVaVVxpAWeAA_0QAADRYcb03Ao141.jpg/.jpg. – (дата обращения: 20.01.2021).
4. Мини ЧПУ лазерный Гравер на Arduino своими руками // DIY энергия. – URL: <https://www.youtube.com/watch?v=uc-L8bR0xgQ>. – (дата обращения: 17.01.2021).
5. Павлов С. Механика самодельного станка ЧПУ // Электропривод. URL: https://electroprivod.ru/cnc_made.htm. – (дата обращения: 22.12.2020).
6. Кошкин, В.Л. Аппаратные системы числового программного управления / В.Л. Кошкин. – Москва/ Машиностроение, 1989. – 248 с.

Сведения об авторах

ФИО	Иванов Н.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес организации	190000, Б. Морская, д.67, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8865-8699
e-mail	iv-nikola@mail.ru
ФИО	Алексеева Е.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	olgakameneva@gmail.com
ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru

Аннотация

В данной статье предоставлен бюджетный и доступный способ создания станка с числовым программным управлением. Предложено техническое решение по реализации и конкретизированы области применения данного изделия.

Ключевые слова: станок с числовым программным управлением; программирование; гравировка материалов; логотипы лесной отрасли; электроника.

УДК 67.05

Разделы рубрикатора ГРНТИ 50.01.85

Анализ работы и область применения ультразвукового радара в водном и лесном хозяйстве

Иванов Н.М., Алексеева Е.А., Иванова И.В.

Введение.

Человечество движется вперед и с техническим прогрессом появляются все больше новых возможностей и нужд человека, которые надо реализовывать и использовать в повседневной жизни. Одна из таких необходимостей – эхолокация.

Слово «Радар» («Radar») было образовано от английского словосочетания «radio detection and ranging» («радиообнаружение и дальность»). Радиоволны представляют собой тип электромагнитного излучения (микроволновые печи, рентгеновские лучи и световые волны другого типа). Это основа данной технологии. Дальность означает измерение расстояния до цели от РЛС (устройство, которое отправляет радиосигнал и принимает обратно его отражение).

Радар использует радиоволны. Похожая система называется «оптический радар» или «лидар» («lidar» – от англ. «light detection and ranging» – «световое обнаружение и дальность»), которая основывается на том же принципе, что и радар, но использует световые волны. Часто используют сонар, чтобы отобразить контуры дна водоема. Звуковые сигналы могут пробивать толщу дна сквозь ил и песок и отрисовать слой породы под ними. Сигнал затем возвращается, давая расстояние до твердой поверхности. Тот же принцип используется при поиске нефти на суше. Сонар отправляет импульс сквозь землю, импульс отражается с различной частотой от разных слоев почвы, и геологи могут определить какие виды грунта и пород присутствуют в почве. Это помогает определить места бурения, которые, скорее всего, содержат природные ресурсы [1].

Эхолокация – это способность по движению звуковых волн определять положение объектов в пространстве. Изучение данного явления началось с того, что ученые заметили, что летучие мыши способны перемещаться в плохом освещении, не задевая предметов, и даже охотиться. Впоследствии было доказано, что летучие мыши издают ультразвук и воспринимают его, отраженным от предметов. Также было установлено, что этот способ ориентации в пространстве используется и другими видами животных, такими как дельфины, землеройки, тюлени и т.д. Таким образом, эхолокация представляет собой эквивалент зрения для слабовидящих животных либо тех, что перемещаются в полной темноте, будь то суша или глубина. Принцип эхолокации основан на различии в плотности сред: сигнал, не встретивший препятствий, рассеется, встретив другую по плотности среду, он частично рассеется, а частично отразится. Зная направление сигнала и время с его отправления до возвращения, животное составляет для себя картину окружающего мира [2].

Эхолокация может быть основана на отражении сигналов различной частоты – радиоволн, ультразвука и звука. Первые эхолокационные системы направляли сигнал в определенную точку пространства и по задержке ответа определяли ее удаленность при известной скорости перемещения данного сигнала в данной среде и способности препятствия, до которого измеряется расстояние, отражать данный вид сигнала. Обследование участка, например, дна водоема и т.п., таким образом, при помощи звука занимало значительное время.

Сейчас используются различные технические решения с одновременным использованием сигналов различной частоты, которые позволяют существенно ускорить процесс эхолокации.

Данное физическое явления заняло много разнообразных ниш в современности, для примера можно назвать приборы, которые работают на принципе эхолокации и помогают выполнять необходимые задачи, в частности в лесном и водном хозяйстве. Например, на сегодняшний день известны и широко используются такие приборы, как: эхолот – самый популярный прибор из всех представленных, часто приобретается рыбаками для изучения дон водоемов, а в частности рельефов, что помогает избежать неприятных ситуаций в процессе рыбной ловли; гидролокатор – устройство, которое применяют для непосредственного обнаружения предметов под толщей воды; ультразвунограф – при его помощи врачи имеют возможность рассмотреть внутренние органы пациента и их состояние; толщиномер – применяется в промышленности для определения толщины покрытий; дефектоскоп – аналогично с толщиномером используется в промышленности для того, чтобы выявить дефекты производства [3] и многие другие. Все они заняли свою нишу в повседневной жизни. На сегодняшний момент данные приборы имеют очень высокую стоимость и сложность производства. В данной статье предлагается создание доступной по цене и сборке сонара, для решения бытовых и промышленных измерений.

Сонар – техническое средство для звукового обнаружения различных объектов с помощью акустического излучения.

Содержание статьи.

Целью работы является методологический подход по созданию сонара, который будет прост в конструкции и сборке, состоящий из доступных по цене комплектующих, но с условием хорошей работоспособности и правильности выполнения поставленных задач.

Для реализации поставленной цели предлагается техническое решение путем использования программируемой платы на базе «Arduino», а также

использования программы на языке «Processing» для отображения результата на экране.

Состав компонентов для создания физического макета:

1. плата (Arduino uno) [2];
2. ультразвуковой датчик HC-SR04 [3];
3. шаговый двигатель (Servo) [4].

Программа «Processing» для создания программного обеспечения, которая отобразит на ПК результат работы датчика. Процесс сборки заключается в следующем: датчик подключается к сервоприводу (серводвигателю), после конструкция подключается к самому Arduino uno. Также к порту платы подключается кабель съема сигнала с Arduino, для дальнейшей обработки и отображении работы датчика на компьютере.

Общий вид схемы собранной конструкции представлен на рис. 1.

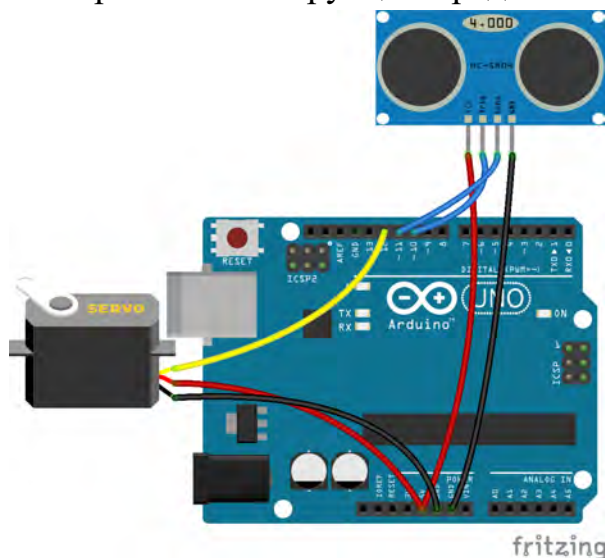


Рис. 1. Общий вид собранной схемы эхо-локатора (сонара)

Далее для обработки сигнала с порта Arduino используется программа Processing. Ниже представлен код этой программы, который обрабатывает сигнал и выводит на экран результаты работы эхо-локатора:

```
import processing.serial.*;
import java.awt.event.KeyEvent;
import java.io.IOException;

Serial myPort;

String angle="";
String distance="";
String data="";
String noObject;
float pixsDistance;
int iAngle, iDistance;
int index1=0;
int index2=0;
```

```

PFont orcFont;

void setup() {
    size (1366, 700);
    smooth();
    myPort = new Serial(this,"COM3", 9600);
    myPort.bufferUntil('.');
}

void draw() {
    fill(98,245,31);
    noStroke();
    fill(0,4);
    rect(0, 0, width, 1010);
    fill(98,245,31);
    drawRadar();
    drawLine();
    drawObject();
    drawText();
}

void serialEvent (Serial myPort) {
    data = myPort.readStringUntil('.');
    data = data.substring(0,data.length()-1);
    index1 = data.indexOf(",");
    angle= data.substring(0, index1);
    distance= data.substring(index1+1, data.length());
    iAngle = int(angle);
    iDistance = int(distance);
}

void drawRadar() {
    pushMatrix();
    translate(683,700);
    noFill();
    strokeWeight(2);
    stroke(98,245,31);
    arc(0,0,1300,1300,PI,TWO_PI);
    arc(0,0,1000,1000,PI,TWO_PI);
    arc(0,0,700,700,PI,TWO_PI);
    arc(0,0,400,400,PI,TWO_PI);
    line(-700,0,700,0);
    line(0,0,-700*cos(radians(30)),-700*sin(radians(30)));
    line(0,0,-700*cos(radians(60)),-700*sin(radians(60)));
    line(0,0,-700*cos(radians(90)),-700*sin(radians(90)));
    line(0,0,-700*cos(radians(120)),-700*sin(radians(120)));
    line(0,0,-700*cos(radians(150)),-700*sin(radians(150)));
    line(-700*cos(radians(30)),0,700,0);
    popMatrix();
}

```

```

void drawObject() {
    pushMatrix();
    translate(683,700);
    strokeWeight(9);
    stroke(255,10,10);
    pixsDistance = iDistance*22.5;
    // 40 cm
    if(iDistance<40){
        line(pixsDistance*cos(radians(iAngle)),-
pixsDistance*sin(radians(iAngle)),700*cos(radians(iAngle)),-700*sin(radians(iAngle)));
    } popMatrix();
}
void drawLine() {
    pushMatrix();
    strokeWeight(9);
    stroke(30,250,60);
    translate(683,700);
    line(0,0,700*cos(radians(iAngle)),-700*sin(radians(iAngle)));
    popMatrix();
}
void drawText() {
    pushMatrix(); if(iDistance>40) {
        noObject = "Out of Range";
    }
    else {
        noObject = "In Range";
    }
    fill(0,0,0);
    noStroke();
    rect(0, 1010, width, 1080);
    fill(98,245,31);
    textSize(25);
    text("10cm",800,690);
    text("20cm",950,690);
    text("30cm",1100,690);
    text("40cm",1250,690);
    textSize(40);
    text("Object: " + noObject, 240, 1050);
    text("Angle: " + iAngle + " °", 1050, 1050);
    text("Distance: ", 1380, 1050);
    if(iDistance<40) {
        text(" " + iDistance + " cm", 1400, 1050);
    }
    textSize(25);
    fill(98,245,60);
    translate(390+960*cos(radians(30)),780-960*sin(radians(30)));
    rotate(-radians(-60));
    text("30°",0,0);
    resetMatrix();
    translate(490+960*cos(radians(60)),920-960*sin(radians(60)));
}

```

```

rotate(-radians(-30));
text("60°",0,0);
resetMatrix();
translate(630+960*cos(radians(90)),990-960*sin(radians(90)));
rotate(radians(0));
text("90°",0,0);
resetMatrix();
translate(760+960*cos(radians(120)),1000-960*sin(radians(120)));
rotate(radians(-38));
text("120°",0,0);
resetMatrix();
translate(840+900*cos(radians(150)),920-960*sin(radians(150)));
rotate(radians(-60));
text("150°",0,0);
popMatrix();
}

```

Также необходимо запрограммировать саму плату Arduino, чтобы активировать ее элементы. Для этого необходимо через программу Arduino IDE загрузить следующий код:

```

#include <Servo.h>.
const int trigPin = 10;
const int echoPin = 11;

long duration;
int distance;

Servo myServo;

void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  Serial.begin(9600);
  myServo.attach(12); // Servo pin
}
void loop() {
  // 1
  for(int i=15;i<=165;i++){
    myServo.write(i);
    delay(30);
    distance = calculateDistance();
    Serial.print(i);
    Serial.print(",");
    Serial.print(distance);
    Serial.print(".");
  }
  for(int i=165;i>15;i--){
    myServo.write(i);
    delay(30);
    distance = calculateDistance();

```

```

        Serial.print(i);
        Serial.print(",");
        Serial.print(distance);
        Serial.print(".");
    }
}
int calculateDistance(){
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    delayMicroseconds(2);
    digitalWrite(trigPin, HIGH);
    delayMicroseconds(10);
    digitalWrite(trigPin, LOW);
    duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
    distance= duration*0.034/2;
    return distance;
}

```

После чего можно запускать установку, и начинается работа эхо-локатора. Данная установка работает следующим образом: ультразвуковой дальномер крепится на сервопривод, и он начинает поворачиваться на 90 градусов. В свою очередь программа, написанная в среде Processing, демонстрирует это на экране. Как только объект или препятствие ближе, чем 40 см на радаре, это все визуально показывается в виде красных линий. Результат вышеописанной работы представлен на рис. 2.

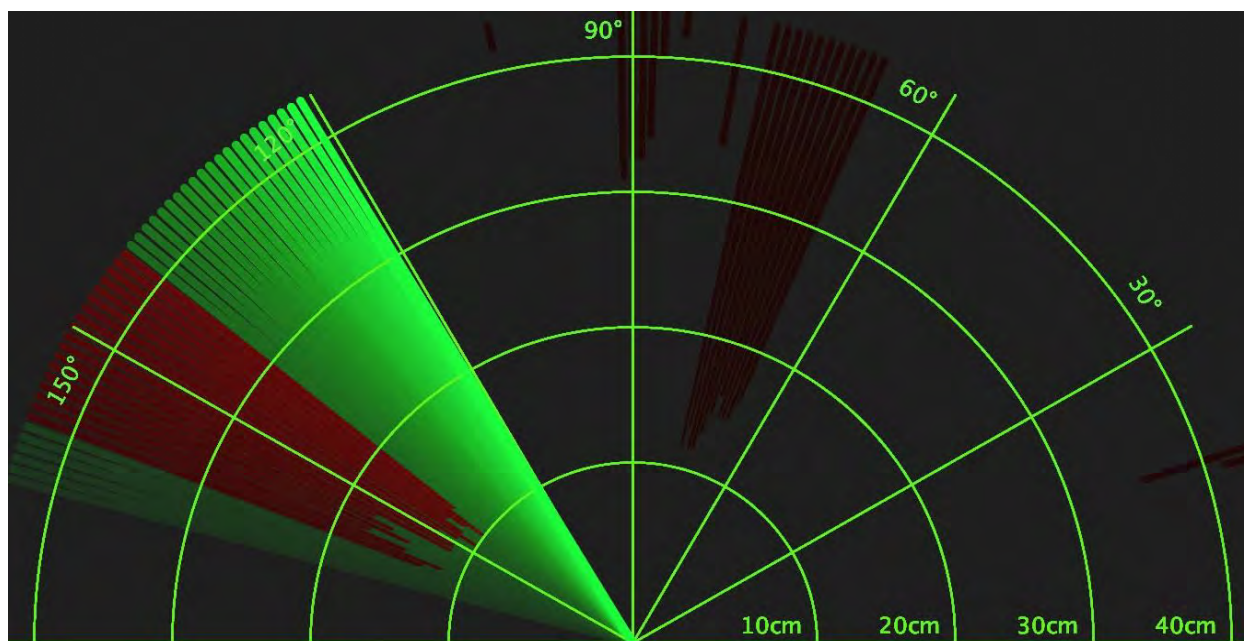


Рис. 2. Результат работы установки и ПО

Заключение.

В результате работы получен доступный по цене и наличию комплектующих эхо-локатор, способный определять предметы в пространстве.

Если поменять комплектующие на более мощные, но также и более дорогие, можно добиться еще больших результатов, а именно:

1. если поставить более мощный дальномер, возможно, увеличить дальность обзора радара;
2. если поставить два дальномера на одну площадку но, у каждой будет свой район обзора, можно реализовать эхо-локатор, способный вести круговой обзор пространства, то есть на 360°.

В работе представлены только возможные пути улучшения данной установки, но возможностей еще больше, начиная от оптимизации программы платы или отображения более детальной информации на компьютере, до полной замены на другую управляемую платформу.

Библиографический список

1. Все о радаре и сонаре // МИРАН: сервисный центр. – URL: <https://seacomm.ru/dokumentacija/9316/>. – (дата обращения: 01.02.2021).
2. *Тептюк, А. Д.* Эхолокация в области машинного зрения / А.Д. Тептюк, В.В. Катков, И.О. Дмитриев – Томск, 2019. – URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/53080988.pdf>. – (дата обращения: 15.01.2021).
3. Что такое эхолокация и где ее применяют? // Рутвет. – URL: <https://rutvet.ru/chto-takoe-eholokaciya-i-gde-ee-primenyayut-10831.html>. – (дата обращения: 12.02.2021).
4. Ультразвуковой радар на Arduino и Processing // у Павла. – URL: <http://psenyukov.ru/ультразвуковой-радар-на-arduino-и-processing/>. – (дата обращения: 22.01.2021).

Сведения об авторах

ФИО	Иванов Н.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес организации	190000, Б. Морская, д.67, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8865-8699
e-mail	iv-nikola@mail.ru
ФИО	Алексеева Е.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	olgakameneva@gmail.com

ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru

Аннотация

В данной статье предоставлен бюджетный и общедоступный способ создания сонара в промышленных условиях, для выполнения необходимых задач в эхолокации.

Ключевые слова: сонар; радар; эхолокация; программирование; электроника.

УДК 621.396.967

Разделы рубрикатора ГРНТИ 44.31.33

Математическая модель прогнозирования использования передаточного числа трансмиссии колесного скиддера

**Михайлов О.А., Андронов А.В., Тарадин Г.С.,
Козьмин С.Ф., Кривоногова А.С., Зверев И.А.**

Введение.

Скиддер ТЛК-1 Онежского тракторного завода с гидромеханической трансмиссией и колесной формулой 4К4. Механическая часть трансмиссии выполнена по схеме блокированного (жестко связанного) привода ведущих мостов и, кроме того, с муфтами свободного хода в ведущих мостах, которые выполняют функцию межколесных дифференциалов.

При выборе схемы математической модели, позволяющей прогнозировать передаточное число трансмиссии, использовались результаты экспериментальных исследований ТЛК-1 на полигоне-волоке ОТЗ.

Суммарный коэффициент сопротивления движению трелевочной системы ψ определяется формулой [1, 2]:

$$\psi = \frac{M_{ен} \cdot K_з \cdot K \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{(G + Q) \cdot r_d}, \quad (1)$$

где: $M_{ен}$ – номинальный крутящий момент двигателя, Нм; $K_з$ – коэффициент загрузки двигателя по крутящему моменту; K – коэффициент трансформации; $i_{тр}$ – передаточное число механической части трансмиссии; $\eta_{тр}$ – механический

КПД трансмиссии; G – вес трактора, Н; Q – вес пачки леса, Н; r_d – динамический радиус колеса, м.

Формулу (1) удобно представить в виде:

$$i_{\text{тр}} = c \frac{\psi}{K},$$

где неслучайный множитель c определяется формулой:

$$c = \frac{(G + Q) \cdot r_d}{M_{\text{ен}} \cdot K_3 \cdot \eta_{\text{тр}}}.$$

Следует отметить, что суммарный коэффициент сопротивления движению трелевочной системы представляет собой следующую сумму отдельных коэффициентов сопротивления [1, 2]:

$$\psi = f_c + i + f_{\text{пв}}, \quad (2)$$

где: f_c – коэффициент сопротивления движению трелевочной системы; i – уклон волока; $f_{\text{пв}}$ – коэффициент сопротивления повороту.

Случайная величина ψ распределена по закону Грама-Шарлье с плотностью:

$$f_1(\psi) = \frac{1}{\sigma} \varphi\left(\frac{x-a}{\sigma}\right) \left[1 + \frac{1}{3!} \alpha H_3\left(\frac{x-a}{\sigma}\right)\right], \quad (3)$$

где: $\varphi(y)$ – стандартная плотность нормального распределения; $H_3(y) = y^3 - 3y$ – полином Чебышева-Эрмита.

Закон распределения случайной величины K может быть определен на основании экспериментальных данных (рис.1, рис.2) [3]. С этой целью используем распределение $1/i$ и связь между случайными величинами K и $1/i$.

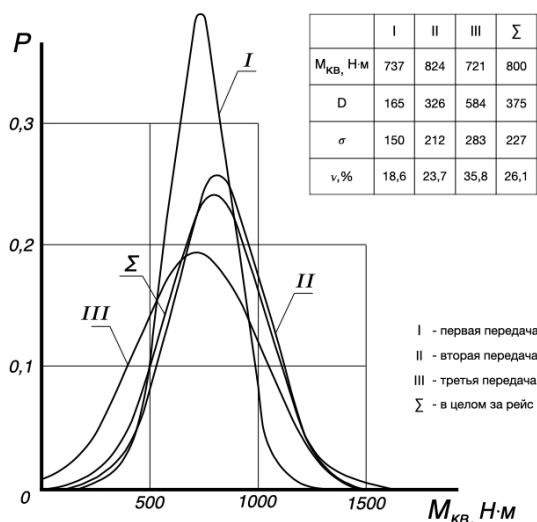


Рис. 1. Кривые распределения крутящего момента на валу турбины по передачам (I, II, III) и в целом за рейс (Σ)

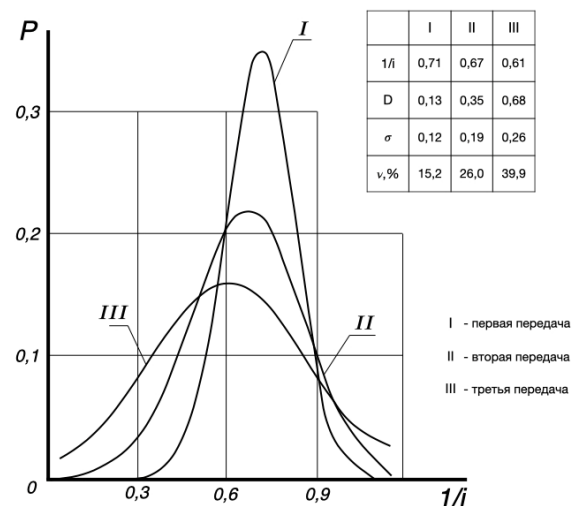


Рис. 2. Кривые распределения кинематического передаточного отношения $1/i$ гидротрансформатора по передачам (I, II, III)

Зная время использования отдельных передач (рис. 2) по формуле:

$$P = \frac{1}{\frac{\alpha_1}{100 \cdot P_I} + \frac{\alpha_2}{100 \cdot P_{II}} + \frac{\alpha_3}{100 \cdot P_{III}}}, \quad (4)$$

можно перейти к обобщенной кривой в целом за рейс.

Функция $f(1/i)$ плотностей распределения вероятностей $1/i$ определяется с помощью метода моментов. Из вида выражения гистограммы (рис. 3) следует, что эта плотность принадлежит семейству кривых Грама-Шарье. Имеем:

$$f_A(x) = \frac{1}{\sigma} \left[\varphi \left(\frac{x - MX}{\sigma} \right) - \frac{\alpha}{6} \ddot{\varphi} \left(\frac{x - MX}{\sigma} \right) \right], \quad (5)$$

где:

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right).$$

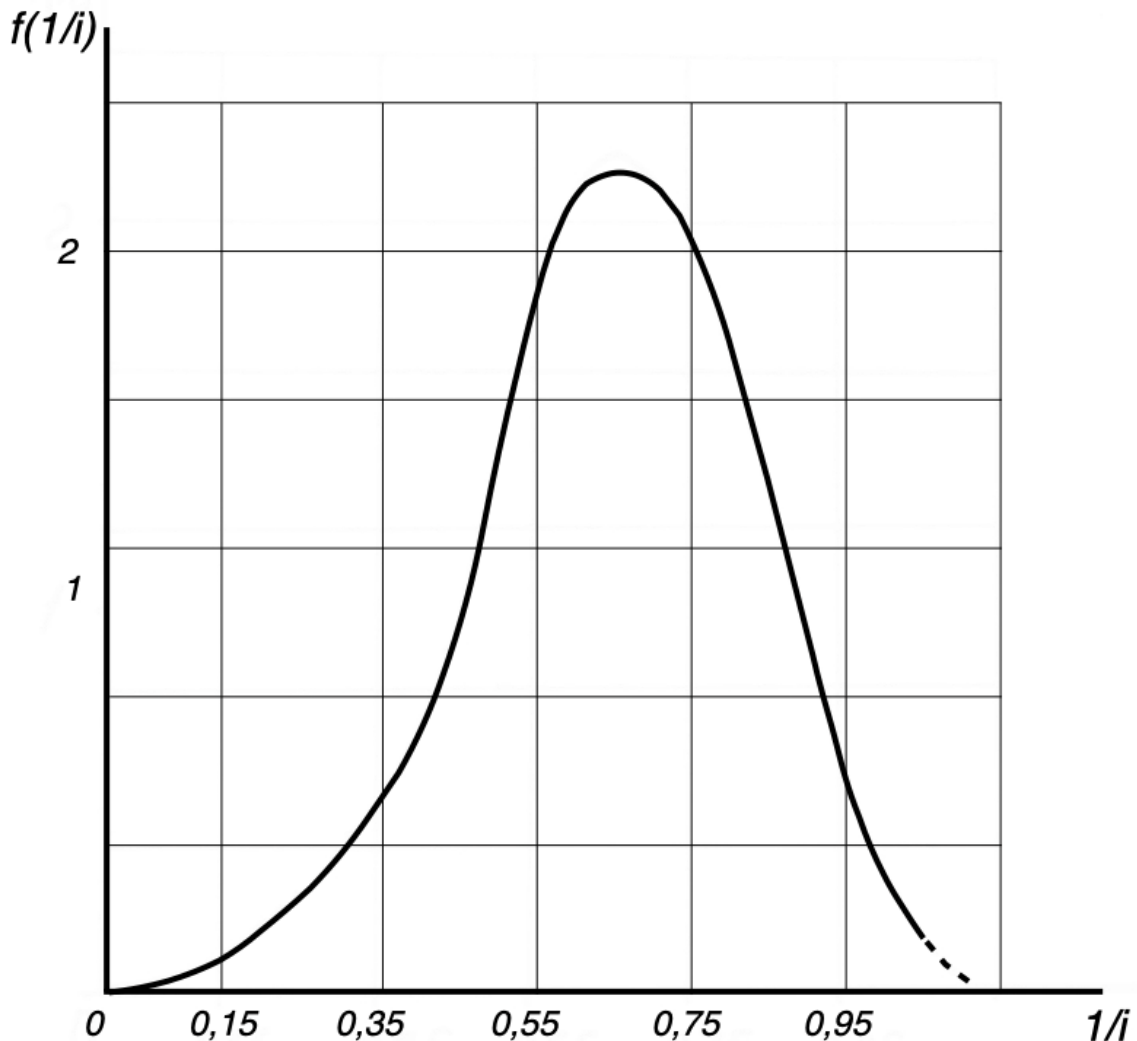


Рис. 3. Обобщенная кривая распределения $1/i$

Связь между случайными величинами $1/i$ и K установлена экспериментально (рис.4). Обработка этих данных по методу наименьших квадратов дает следующие уравнения линейной регрессии:

$$K = -2,37 \cdot X + 2,91. \quad (6)$$

$$X = -0,43K + 1,23, \quad (7)$$

где $X = 1/i$

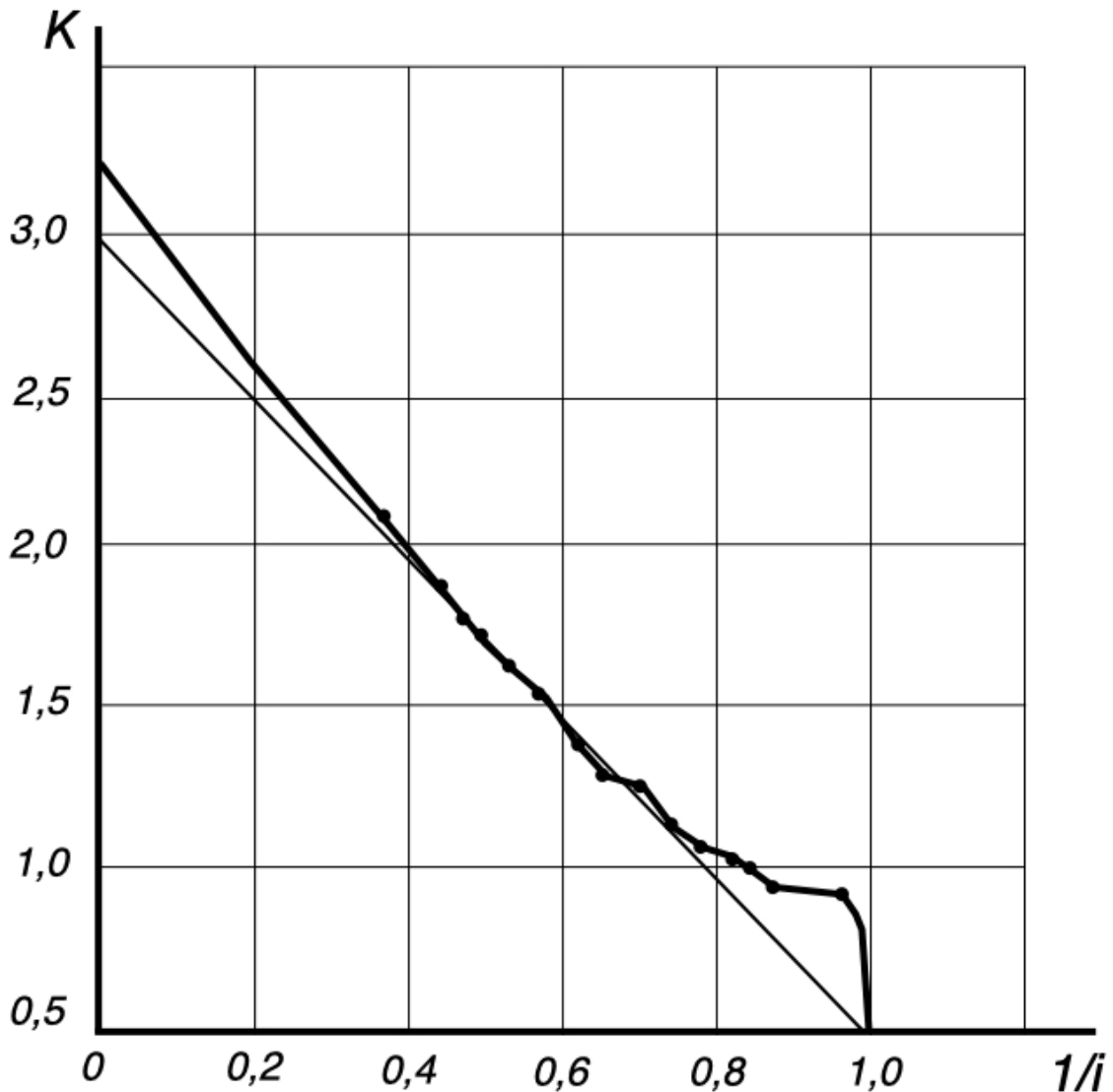


Рис. 4. График зависимости между $1/i$ и K , полученные экспериментально и обработанные по методу наименьших квадратов

Используя (6) и (7) и проведя некоторые преобразования получаем, что искомая плотность распределения случайной величины K описывается формулой:

$$g(K) = \frac{1}{0,466} \varphi\left(\frac{K - 1,35}{0,446}\right) \quad (8)$$

График плотности распределения вероятностей случайной величины K представлен на рис. 5.

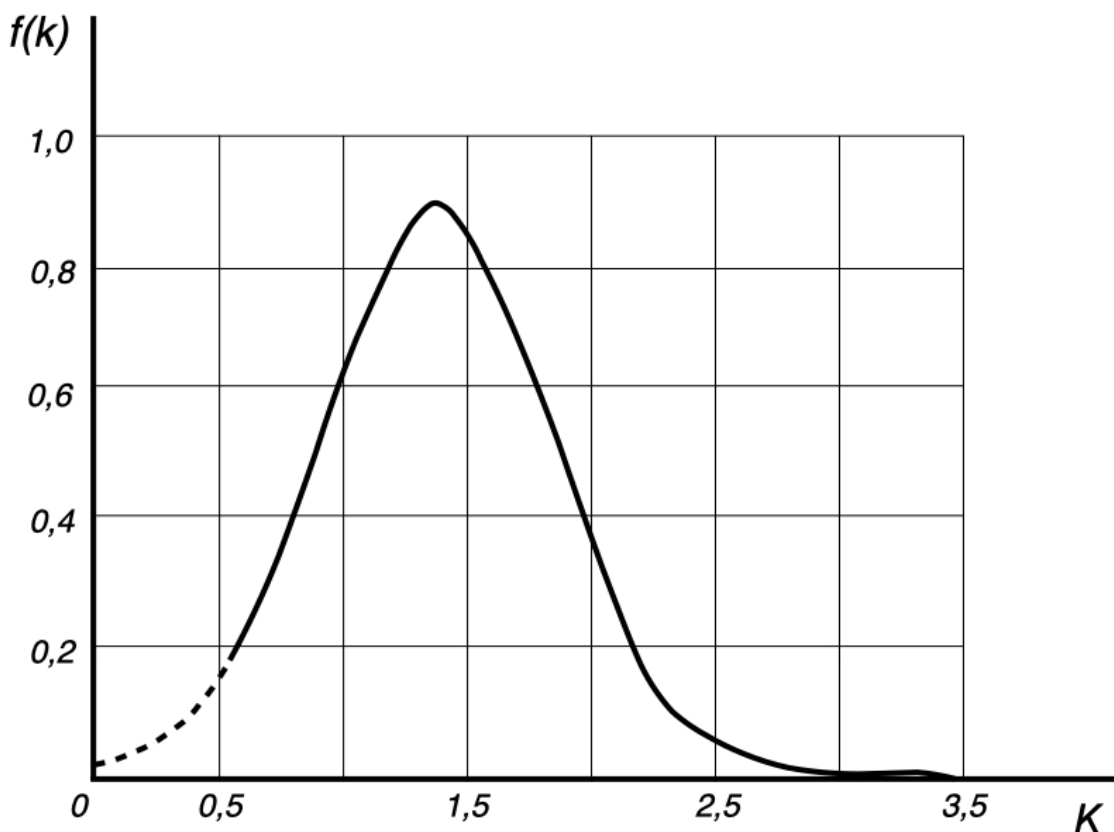


Рис. 4. График зависимости между $1/i$ и K , полученные экспериментально и обработанные по методу наименьших квадратов

Отметим, что ошибка, связанная с заменой бесконечного интервала изменения случайной величины K на конечный интервал $(0,530; 3,252)$ не превышает 3%. Это следует из формулы (6).

Напомним, что плотности распределения ψ и K задаются формулами (3) и (8). Эти случайные величины можно считать независимыми, поэтому совместная плотность $f(\psi, K)$ двумерного случайного вектора (ψ, K) задается выражением:

$$f_0(\psi, K) = f_1(\psi)f_2(K) \quad (9)$$

$$(\psi \geq 0; 0,530 \leq K \leq 3,252)$$

где для удобства записи перешли от $g(K)$ к $f_2(K)$.

Плотность распределения $f_3(y)$ двух случайных величин $\psi/K = y$, как известно может быть определена по двумерной плотности $f_0(\psi, K)$ случайного вектора (ψ, K) с помощью формулы:

$$f_3(y) = \int_0^{\infty} t f_1(t) f_2(yt) dt \quad (10)$$

Случайные величины i_{mp} и y в силу формулы (1) связаны зависимостью:

$$i_{тр} = c \cdot y \quad (11)$$

где: $c > 0$ – неслучайная величина.

Значит, плотность распределения $f(i_{\text{тр}})$ должна задаваться формулой:

$$f(i^M) = \frac{1}{c} f_3\left(\frac{i^M}{c}\right) \quad (12)$$

и, согласно (10) имеем:

$$f(i_{\text{тр}}) = \frac{1}{c} \int_0^{\infty} t f_1(t) f_2\left(\frac{i_{\text{тр}}}{c} t\right) dt \quad (13)$$

Формулы (3), (8) и (13) позволяют теоретически найти плотность распределения $f(i_{\text{тр}})$ случайной величины $i_{\text{тр}}$.

Заключение.

Предложенная методика прогнозирования использования передач колесного трелевочного трактора с гидромеханической трансмиссией позволяет на стадии проектирования оценить правильность выбора передаточного ряда. Следует отметить, что математическая модель учитывает целый ряд факторов эксплуатации лесозаготовительной техники, что повышает ее адекватность.

Библиографический список

1. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля. Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, Л.: ЛТА, 1986. – 198 с.
2. Анисимов Г.М., Перельман А.Я., Михайлов О.А. Метод получения обобщенного закона распределения свойств трелевочного волокна. Межвуз. сб. науч. тр. Повышение эксплуатационной эффективности машин для лесозаготовок и лесного хозяйства, Л.: 1986. – с.11-14
3. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям.-М.: «Наука», 1979. – 832с.

Сведения об авторах

ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Андронов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8345-3722
e-mail	andronovalexandr@gmail.com

ФИО Тарадин Г.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5247-6595
e-mail grisha190@mail.ru

ФИО Козьмин С.Ф.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 6778-0352
e-mail cozminsf@yandex.ru

ФИО Кривоногова А.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8399-6121
e-mail krivonoqova.aleksandra@lta-landscape.com

ФИО Зверев И.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код нет
e-mail igorzv1997@gmail.com

Аннотация

В данной статье приводится математическая модель прогнозирования использования передаточного числа трансмиссии колесного трелевочного трактора, оснащенного гидродинамической передачей. Методика позволяет на стадии проектирования оценить правильность выбора передаточного ряда трансмиссии.

Ключевые слова: математическая модель, прогнозирование, коэффициент сопротивления движению, закон распределения случайной величины, кривые распределения, трелевочный трактор, колесный скиддер.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.00

Обоснование конструкции опытного образца водо-водяного пластинчатого теплообменника

Прохоров В.А., Куликов А.А., Иванова И.В.

Введение

Реконструкция теплоиспользующих установок в Санкт-Петербурге с учетом современных требований выявила ряд требующих комплексного решения проблем и определила различные подходы для достижения положительного результата.

Данные проблемы могли быть решены в значительной мере за счет использования апробированных изделий и технических решений зарубежных поставщиков, а также поиска для специфических условий эксплуатации таких установок новых технических решений этими же поставщиками. Следует отметить, что зарубежные поставщики – фирмы с серьезной репутацией предлагали технические решения из области достаточно высоких технологий с соответствующими финансовыми затратами. Использование готовых и поиск новых решений – это только одна сторона затрат. Эксплуатация теплоиспользующих установок с высокотехнологичным оборудованием в течение установленного срока службы, в ряде случаев требует создания или привлечения специальных сервисных подразделений (предприятий). Данный сервис обеспечивает поддержание работоспособного и надежного состояния высокотехнологичного оборудования за счет использования специальных технологий, управляемых обученным персоналом. Такой подход привел к формированию нового поля деятельности с тенденцией к последующему расширению с соответствующим возрастающим объемом затрат.

Другой подход для решения проблем сформировали отечественные поставщики – малые предприятия (малый бизнес). Их деятельность осуществлялась с одной стороны в плотном организационно – техническом взаимодействии с заказчиком – эксплуатирующим предприятием, с другой стороны в условиях ограниченного объема финансирования и достаточно жесткого контроля за расходованием выделенных средств. Результатом этого подхода стала смешанная состоящая из отечественных и зарубежных изделий комплектация объектов реконструкции. Данное решение повлекло за собой ряд

организационно – технических издержек с покрытием затрат за счет исполнителя.

Жесткость второго подхода несколько смягчило присутствие на рынке услуг на момент реконструкции квалифицированных специалистов из разных областей техники и их участие в решении проблем. Эти специалисты способствовали привлечению отечественных апробированных технических решений из сферы высоких технологий, не требующих значительных затрат. С одной стороны, конкуренция на рынке услуг разных поставщиков способствовала довольно активному участию в реконструкции теплоиспользующих установок отечественных предприятий и привела к повышению уровня технического оснащения эксплуатирующих организаций. Однако данная схема достижения положительного результата не продемонстрировала консолидированного интереса со стороны заказчиков (эксплуатирующих организаций) и исполнителей (малых предприятий) с соответствующей финансовой поддержкой на определенную перспективу к решению широкого круга проблем, которые выявила широкомасштабная реконструкция теплоиспользующих установок. В итоге решение части технических связанных с разработкой оборудования проблем осталось в области профессионального интереса специалистов – участников реконструкции.

Одни проблемы, связанные с созданием нового оборудования на основе известных рекомендаций, получили частичное разрешение. Например, фильтр [1] при поддержке инвесторов последовательно прошел стадию разработки, изготовления, испытаний модели и эксплуатации промышленных образцов. Другие проблемы, связанные с созданием, например, пластинчатого теплообменника [2] на основе новых технических решений не привлекли внимания инвесторов. Ожидаемая длительная процедура достижения результата вызывала настороженность у инвесторов и потребителей и не позволила обеспечить финансовую поддержку данной разработки и ввести временные ограничения на ее выполнение.

Цели и задачи.

Данная статья затрагивает круг проблем, связанных с решением задач по выбору и обоснованию конструкции опытного образца изделия с целью создания нового конкурентоспособного водо-водяного пластинчатого теплообменника, адаптированного к условиям эксплуатации отечественных теплоиспользующих установок.

Методика исследования.

Результаты деятельности отечественных поставщиков оборудования при реконструкции теплоиспользующих установок и инициативные разработки

специалистов определили содержание предварительного (некоммерческого) этапа разработки нового пластинчатого теплообменника.

К результатам данного этапа разработки пластинчатого теплообменника можно отнести следующее:

1) выбор конструктивного исполнения теплообменных поверхностей теплообменника – плоских и штампованных со сферообразными выступами и впадинами пластин (известное техническое решение [3]);

2) выбор металлоконструкции пластинчатого теплообменника, включая нажимные плиты с защитными пластинами и патрубками (новое техническое решение [2]), опорные, направляющие и крепежные элементы (апробированное техническое решение в коммерческом проекте теплообменника с покупными импортными пластинами);

3) обоснование прочности конструкции пластинчатого теплообменника, включая нажимные плиты, крепежные и уплотнительные (прокладки) элементы, экспериментальное определение характеристик прокладок (в составе коммерческого проекта теплообменника).

Решения по пунктам 2) и 3) приняты в соответствии с опытом разработки, изготовления и эксплуатации изделий энергомашиностроения для тепловой и атомной энергетики. При этом применение защитных пластин с патрубками – простое, эффективное и технологичное решение для защиты границ давления (нажимных плит с патрубками) от коррозии и обеспечения заданного срока службы, защищенное патентом [2]. Получение характеристик прокладок позволяет обоснованно использовать импортные изделия или задать характеристики для поиска отечественных аналогов. Можно констатировать, что предварительные решения по пунктам 2) и 3) могут составить основу проекта нового пластинчатого теплообменника, адаптированного к условиям эксплуатации отечественных теплоиспользующих установок.

Касающееся выбора конструктивного исполнения теплообменных поверхностей решение по пункту 1) представляется зависящим от многих факторов. Сформулированные в статье [4] ожидания о конкурентоспособности новой конструкции в отношении:

- снижения гидравлического сопротивления;
- надежной герметизации изделия за счет применения в пакете гибких плоских пластин наряду со штампованными пластинами;
- повышения интенсивности теплопередачи

требуют обоснования, включая проведение испытаний. Выбор данного исполнения теплообменных поверхностей был определен следующими доводами, связанными с:

- 1) уменьшением количества штампованных пластин;

2) приемлемой с точки зрения штамповки конфигурацией пластин;

3) предполагаемой меньшей склонностью к накоплению загрязнений и образованию отложений – дополнительных термических сопротивлений, чем у прототипов, и упрощением процедуры очистки теплообменных поверхностей в период остановок и ремонтов.

Из перечисленных доводов очевидным является одно преимущество данной конструкции – уменьшение количества штампованных пластин, но это не избавляет от необходимости достижения конкурентного уровня характеристик изделия. Предварительно был проведен выбор материала теплообменных поверхностей для изготовления опытного образца теплообменника, разработана конструкция штампа для выполнения штамповки без применения специализированного оборудования, выбрана теплоиспользующая установка, в составе которой предполагалось провести длительные испытания при промышленных параметрах. Данные изыскания показали возможность разработки, изготовления и испытания опытного образца изделия без привлечения внешних инвестиций.

Представленные в [4] результаты расчетных оценок подтвердили принципиальную возможность создания нового пластинчатого теплообменника с характеристиками, равными аналогичным показателям импортного изделия – прототипа:

1) толщиной щели (величиной зазора между пластинами);

2) площадью поверхности теплообмена штампованной со сферообразными выступами и впадинами пластины;

3) габаритными размерами теплообменной части пакета пластин.

Указанные оценки были выполнены в предположении:

- количество выступов равно количеству впадин на одной оси по ширине теплообменной поверхности;
- ряды выступов (впадин) расположены без зазора по ширине и вдоль теплообменной поверхности;
- выступы (впадины) на теплообменной поверхности расположены в шахматном порядке;
- высота выступов равна толщине щели теплообменного канала.

Отдельно следует отметить, что площадь поверхности теплообмена новой штампованной пластины может превышать аналогичный показатель для плоской пластины с такими же габаритами на величину до 60 %.

Анализ результатов оценок интенсивности теплоотдачи в плоских щелях толщиной более 2 мм, но менее 5 мм для температурного графика ($t_{\text{вход}}/t_{\text{выход}}$) по греющей воде – (110°C/70°C), по нагреваемой воде – (5°C/60°C) показал, что:

- в области стабилизированного ламинарного течения воды следует ожидать средние коэффициенты теплоотдачи менее $1000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$;
- при нестабильном ламинарном течении воды на участках малой протяженности средние коэффициенты теплоотдачи не превышают $2000 \dots 4000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Были выполнены оценки интенсивности теплоотдачи в каналах пластинчатого теплообменника с характеристиками, равными вышеуказанным показателям прототипа. При этом межпластинный канал рассматривался как система параллельных каналов с осредненными эквивалентными гидравлическими характеристиками. Соответственно влияние криволинейных поверхностей на теплогидравлические процессы в оценках учитывалось только косвенно. Однако даже при столь грубых подходах результаты свидетельствуют, что система параллельных каналов меняет свое расположение на каждом новом ряде выступов (впадин) по ходу движения воды, характерные участки становятся относительно короткими и тем самым провоцируется нестабильность течения в ламинарном режиме. С учетом принятых допущений при ламинарном течении средние коэффициенты теплоотдачи составили $2100 \dots 2700 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$. В переходном и турбулентном режимах указанный подход не позволил установить влияние конфигурации теплообменной поверхности на интенсивность теплоотдачи.

Краткий анализ источников, посвященных интенсификации теплоотдачи. Разнообразные технические решения, связанные с интенсификацией конвективного теплообмена в теплообменных аппаратах энергетических установок, представлены в современных научно-технических источниках. В работе [5] отмечено, что при проектировании и изготовлении теплообменного оборудования необходимо обеспечивать его высокий уровень работоспособности и надежности, оптимальные массогабаритные характеристики. При этом именно интенсификация теплообмена является эффективным путем решения данных задач. В частности, применительно к течению однофазных теплоносителей широко используются турбулизаторы потока на теплообменной поверхности.

В [6] указано, что в многочисленных работах показана теплогидравлическая эффективность нанесения рельефов из сферических выемок на плоские и цилиндрические теплообменные поверхности. Там же отмечено, что использование сферических выемок в качестве интенсификаторов теплообмена:

- связано с более ранним ламинарно–турбулентным переходом и более поздним отрывом потока на криволинейных поверхностях;

- увеличивает теплодачу в 1,5...4,5 раза при умеренном росте гидравлического сопротивления;
- связано с несложной технологией нанесения лунок (в частности, на плоские поверхности), не оказывающей заметного влияния на общую стоимость теплообменного аппарата.

Исследования показали, что обтекание потоком сплошной среды сферических углублений сопровождается возникновением крупномасштабных динамических вихревых структур, наблюдаемые в ламинарном и в турбулентном режимах. В [6] также отмечено, что расширение потока в створе выемки за счет локального изменения геометрических характеристик канала определяет особенности обтекания сферической выемки жидкостью или газом. В ламинарном режиме течение достаточно неустойчиво и зависит от резкого изменения скорости потока, вибрации поверхности, других внешних возмущений.

В работе [7] с помощью расчетного (численного) исследования установлено влияние на интенсивность теплообмена расположения сферических лунок в канале с градиентом давления. При этом определено, что шахматное расположение лунок обеспечивает более высокие значения локальных коэффициентов теплоотдачи, чем коридорное расположение лунок.

Следует отметить, что в большинстве работ рассматривалось конструктивное исполнение теплообменных поверхностей с расположением впадин или выступов только в одну сторону.

Результаты и обсуждение исследований.

Оценка интенсивности теплоотдачи в каналах между плоской пластиной и штампованной пластиной со сферообразными выступами и впадинами.

Несмотря на то, что техническое решение [3] является известным достаточно давно, на практике оно относительно просто применимо только для пластинчатого теплообменника. Но и в этих теплообменниках данное решение широкого применения не нашло. Конструктивные особенности теплообменника, в отношении которого была выполнена оценка интенсивности теплоотдачи в каналах, представлены в материалах [2, 4]. Около 75 % поверхности штампованной пластины занимают выступы и впадины, остальное – плоские участки между выступами и впадинами и в примыкающих непосредственно к уплотнению зонах. Примененная шахматная компоновка выступов и впадин в рассматриваемом канале между штампованной и плоской пластинами позволяет предположить, что прострельные течения мало вероятны и вся жидкость участвует в обтекании сложного рельефа штампованной пластины. Представленное выше конструктивное исполнение теплообменных поверхностей предполагает равенство средних скоростей соответственно

греющей и нагреваемой сред в данном теплообменнике и в пакете плоских пластин при одинаковом шаге установке пластин. Учитывая эти особенности, в качестве базы для сравнения были выбраны корректно оцениваемые коэффициенты теплоотдачи в плоских щелях при упомянутом выше температурном графике рабочих сред в зависимости от чисел Рейнольдса. Оценки выполнялись:

- со стороны греющей среды;
- на границах ламинарного режима течения при $Re = 2300$;
- на границах переходного режимов течения при $Re = 5000$;
- для турбулентного режима в диапазоне $Re = 6000 \dots 25000$;
- со стороны нагреваемой среды при числах Рейнольдса примерно в 3,2 раза ниже, чем для греющей среды.

Данный подход позволяет однозначно связать относительную интенсивность теплоотдачи с геометрией каналов пластинчатого теплообменника, режимами его эксплуатации, включая скорости рабочих сред, прочими характеристиками.

Для оценки интенсивности теплоотдачи были использованы:

- при омывании выступов непосредственно рекомендации [8] для шахматных пучков труб – вариант 1;
- при омывании выступов и впадин косвенно рекомендации [9] для криволинейных поверхностей – вариант 2 для выступов;
- при течении в плоских каналах (щелях) рекомендации [10].

Во всех оценках числа Рейнольдса были отнесены к средней скорости рабочих сред в каналах. Гидравлические диаметры были определены с учетом конкретной методики расчета интенсивности теплообмена, а кривизна криволинейных поверхностей определялась их конструктивными влияющими на обтекание особенностями.

Результаты оценки относительной интенсивности теплоотдачи в зависимости от числа Рейнольдса со стороны греющей среды в плоской щели приведены:

- при омывании выступов греющей средой на рис. 1;
- при омывании выступов нагреваемой средой на рис. 2.

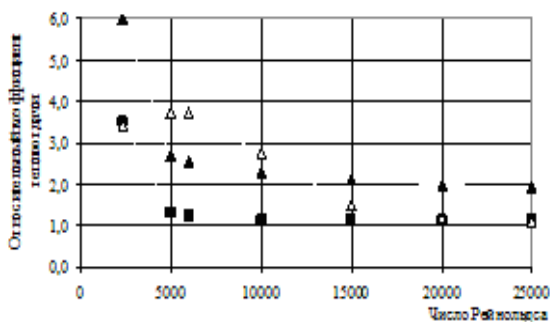


Рис. 1. Зависимость относительного коэффициента теплоотдачи от числа Рейнольдса при обтекании выступов греющей средой:

- ▲ – вариант 1 (греющая среда);
- – вариант 2 (греющая среда);
- △ – впадина (охлаждающая среда)

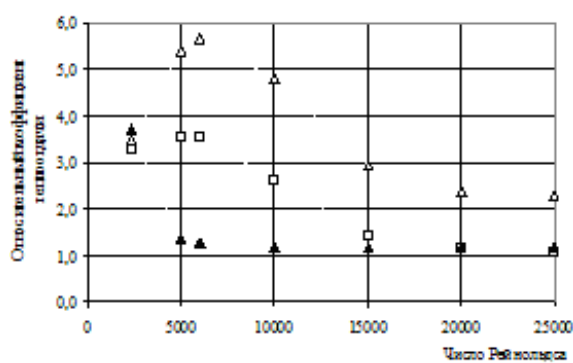


Рис. 2. Зависимость относительного коэффициента теплоотдачи от числа Рейнольдса при обтекании выступов нагреваемой средой:

- ▲ – вариант 1 (нагреваемая среда);
- – вариант 2 (нагреваемая среда);
- △ – впадина (греющая среда)

Представленные на рис. 1 и 2 результаты свидетельствуют во всех рассмотренных случаях:

- относительная интенсивность теплоотдачи изменяется от больших значений в области ламинарных течений до меньших значений в области переходных и турбулентных течений, а коэффициенты теплоотдачи при этом возрастают по мере роста интенсивности течения;
- рост интенсивности течения нагреваемой среды запаздывает по сравнению с греющей средой и соответственно это отражается на характере изменения относительной интенсивности теплоотдачи;
- относительная интенсивность теплоотдачи при омывании выступов, оцененная по варианту 1 выше, чем по варианту 2.

Учитывая опыт разработки и эксплуатации аналогичных теплообменников, следует ожидать, что интенсификация теплообмена затронет плоские участки штампованной пластины вокруг выступов и впадин и с учетом малого зазора между пластинами распространится на плоские пластины. Следует также отметить, что по данным [9] в каналах с выступами развитие и последующий отрыв пограничных слоев на стенках обтекаемых тел сопровождается возникновением турбулентных вихрей и интенсификацией теплообмена. Этим и объясняется разница выполненных вариантам 1 и 2 оценок. На тех же рисунках представлены данные по относительной интенсивности теплообмена во впадинах, которые расположены с другой стороны штампованной пластины по отношению к выступам.

Анализ полученных результатов не позволяет утверждать, что расчетным путем оценены пределы изменения интенсивности теплоотдачи в зависимости от интенсивности течения в каналах пластинчатого теплообменника с плоскими

и штампованными пластинами. Однако полученная информация позволяет выполнить организационно-технические мероприятия для подготовки теплотехнических испытаний опытного образца.

Заключение и выводы.

Представленную в настоящей статье информацию следует рассматривать в качестве основы технического обоснования опытного образца пластинчатого теплообменника с плоскими и штампованными пластинами. Часть этой основы составляют результаты и технические решения, полученные в ранее выполненных работах:

- металлоконструкция пластинчатого теплообменника, включая нажимные плиты с защитными пластинами и патрубками;
- методика обоснования прочности конструкции пластинчатого теплообменника, включая нажимные плиты, крепежные и уплотнительные (прокладки) элементы, экспериментальное определение характеристик прокладок,
- конструкция штампа для выполнения штамповки без применения специализированного оборудования.

Эти решения были приняты в соответствии с опытом разработки, изготовления и эксплуатации изделий энергомашиностроения для тепловой и атомной энергетики и защищены патентом [2].

В качестве другой части этой основы можно использовать также приведенные в данной статье результаты оценок интенсивности теплоотдачи в зависимости от интенсивности течения в каналах пластинчатого теплообменника. Отдельно можно отметить, что они вполне сопоставимы с данными других авторов, например [6]. Проект конструкции теплообменных пластин на основе данных [2, 4] с расчетом прочности по ранее разработанной методике с использованием экспериментально определенной характеристики прокладок позволят завершить обоснование опытного образца пластинчатого теплообменника с плоскими и штампованными пластинами. Теплотехнические испытания опытного образца такого изделия определяют его уровень конкурентоспособности по сравнению с существующими аналогами. Представленные в данной статье данные по интенсивности теплоотдачи позволяют рассчитывать на положительный результат.

Библиографический список

1. Прохоров, В. А. Разработка фильтра механического для очистки воды // В.А. Прохоров, А.А. Куликов, И.В. Иванова // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019 / отв. ред. В.А. Соколова – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – 520 с. – С. 138-148.

2. Пластинчатый теплообменник. Патент на изобретение № 2188375, 28.12.2000 г.
3. Пакет пластин для теплообменника. Патент на изобретение RU 2164332, 02.03.1999 г.
4. Прохоров, В. А. Разработка водо-водяного пластинчатого теплообменника / В.А. Прохоров, А.А. Куликов, И.В. Иванова // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019 / отв. ред. В.А. Соколова – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2020. – 520 с. – С. 127-138.
5. Ибрагимов, У. Х. Экспериментальное исследование коэффициента теплоотдачи в трубках теплообменника при применении локальных турбулизаторов / У.Х. Ибрагимов, С.М. Шомуратова — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2014. — № 4 (63). — С. 178-179. — URL: <https://moluch.ru/archive/63/9704/>
6. Гортышов, Ю.Ф. Гидродинамика и теплообмен на поверхностях со сферическими выемками / Ю.Ф. Гортышов, И.А. Попов, А.В. Щелчков, Д.В. Рыжков // Казанский государственный технический университет им. А. Н. Туполева. porov_igor_alex@mail.ru
7. Цынаева, А. А. Влияние расположения сферических лунок на теплообмен в канале с градиентом давления / А. А. Цынаева, А. П. Азрумелашвили. — Текст: непосредственный // Молодой ученый. — 2019. — № 21 (259). — С. 124-131. — URL: <https://moluch.ru/archive/259/59675/>
8. Методика и зависимости для теоретического расчета теплообмена и гидравлического сопротивления теплообменного оборудования АЭС. Руководящий технический материал РТМ 24.031.05-72. – Москва: МТЭИТМ, 1972 г. – 125 с.
9. Оборудование теплообменное АЭС. Расчет тепловой и гидравлический. Руководящий технический материал РТМ 108.031.05-84. – Ленинград: НПО ЦКТИ, 1986 г. – 179 с.
10. Кутателадзе, С.С. Справочник по теплопередаче / С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. – Москва-Ленинград: ГЭИ, 1959. – 414 с.

Сведения об авторах

ФИО	Прохоров В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3817-3390
e-mail	Proxorov_lta@mail.ru
ФИО	Куликов А.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7746-2999
e-mail	ltuttsu@mail.ru
ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

Аннотация

В настоящей статье представлена информация об обосновании конструкции опытного образца водо-водяного пластинчатого теплообменника. Для обоснования были использованы результаты и технические решения, полученные в ранее выполненных работах, а также результаты оценок интенсивности теплоотдачи в каналах между штампованными и плоскими пластинами приведенные в данной работе. Данные настоящего обоснования могут быть использованы для создания опытного образца изделия и проведения его теплотехнических испытаний с целью определения уровня конкурентоспособности.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник; теплоиспользующая установка; теплообменная поверхность; уплотнительный элемент; коэффициент теплоотдачи; plate heat exchanger; heat-using unit; heat exchange surface; sealing element; heat transfer coefficient.

УДК 621.565.944.1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 44.31.35

Оценка влияния химико-технологической промывки теплопередающих поверхностей на эффективность работы пластинчатых теплообменников ЦТП

Прохоров В.А., Куликов А.А., Иванова И.В.

Введение

В начале 2000-х годов в соответствии с «Адресной программой по химико-технологической промывке (ХТП) пластинчатых теплообменников в центральных тепловых пунктах (ЦТП)» с привлечением специализированных организаций для филиалов ГУП «ТЭК СПб» были проведены работы по восстановлению эффективности теплопередачи пластинчатых водо-водяных теплообменников по нескольким адресам.

Очистка пластин теплообменников проводилась в три стадии:

1. предварительная очистка теплопередающих поверхностей пластин, после разборки теплообменников, проводилась с использованием аппарата высокого давления;

2. основная очистка поверхностей проводилась путем химической реакции, возникающей вследствие контакта грязевых отложений, оставшихся после первой стадии промывки, с химическим раствором на основе ортофосфорной кислоты;
3. заключительный этап промывки заключался в нейтрализации щелочным раствором остатков химической реакции.

При совместном визуальном осмотре представители заказчика и подрядчика установили наличие слоев отложений на поверхности пластин теплообменников со стороны греющей и нагреваемой сред. После проведения работ по очистке пластины теплообменников приобрели вид, который у них был в состоянии поставки до ввода в эксплуатацию.

Цели и задачи.

Данная статья затрагивает задачи, связанные с оценкой параметров пластинчатых теплообменников после их химико-технологической промывки с целью определения эффективности мероприятий по восстановлению характеристик оборудования, а также определяет перечень необходимых для надежной оценки параметров работы ЦТП.

Методика исследования.

Оценка влияния состояния теплопередающих поверхностей на характеристики пластинчатых теплообменников.

Для определения степени влияния промывки теплопередающих поверхностей на эффективность работы теплообменников представители заказчика передали подрядчику сведения о параметрах греющей (1 контур) и нагреваемой (2 контур) сред во время отопительного сезона до и после промывки, зарегистрированные в документах учета работы оборудования ЦТП. Вышеупомянутые сведения представлены в таблице 1.

Таблица 1. Параметры греющей (1 контур) и нагреваемой (2 контур) сред

Адрес ЦТП	Период отопительного сезона	Параметры									
		1 контур					2 контур				
		Давление, бар		Температура, К		Расход, т/ч	Давление, бар		Температура, К		Расход, т/ч
вход P_1	выход P_2	вход T_1	выход T_2	G_1	вход P_3	выход P_4	вход T_3	выход T_4	G_2		
№ 1		перед ХТП									
	начало	7,0	3,6	66	42	310	7,8	4,5	52	36	
	конец	6,7	3,8	65	41	250	8,0	4,3	53	38	
		после ХТП									
	начало	6,1	4,0	85	43		8,0	4,3	63	40	
№ 2		перед ХТП									
	начало	7,5	3,8	70	43		7,0	4,4	50	35	
	конец	6,9	4,2	68	44		6,6	4,4	60	43	
		после ХТП									
	начало	6,5	4,2	94	54		6,8	4,3	75	41	
№ 3		перед ХТП									
	начало	7,6	3,3	69	43		7,8	4,3	52	34	
	конец	6,5	3,7	69	43		7,7	4,2	53	38	

		после ХТП									
	начало	5,9	4,4	87	52	270	8,2	4,5	74	45	
№ 4		перед ХТП									
	начало	6,2	3,4	75	42		8,0	4,6	51	36	
	конец	4,9	3,9	76	40		8,2	4,6	59	40	
		после ХТП									
	начало	5,1	4,1	90	44		8,2	4,4	67	42	

Анализ параметров рабочих сред, приведенных в таблице 1, показал, что представленный объем эксплуатационной информации:

- для точных оценок эффективности работы теплообменников недостаточен;
- из-за отсутствия расходов греющих и нагреваемых сред для сведения тепловых балансов и определения достоверности замеров;
- из-за различий режимов работы теплообменников, которые сопровождаются разными входными параметрами со стороны греющих и нагреваемых сред и не позволяют напрямую определять изменение эффективности работы теплообменников по соотношению тепловых потоков;
- позволяет выполнить прогнозные оценки эффективности работы теплообменников.

В общем случае оценка теплового потока пластинчатого теплообменника в эксплуатационных условиях при наличии или отсутствии отложений основывается на равенстве тепловых потоков, подведенного греющей водой, отведенного нагреваемой водой и переданного через теплообменную поверхность по следующей методике:

- тепловой поток, подведенный греющей (сетевой) водой к пластинчатому теплообменнику: $Q_1 [\text{Вт}] = G_1 c_{p1} (T_1 - T_2)$;
- тепловой поток, отведенный водой нагреваемой (квартирной) от пластинчатого теплообменника: $Q_2 [\text{Вт}] = G_2 c_{p2} (T_4 - T_3)$;
- тепловой поток, переданный через теплообменную поверхность от воды греющей к воде нагреваемой: $Q_0 [\text{Вт}] = K_0 \Delta t_{\ln 0} F_0$;
- коэффициент теплопередачи теплообменной поверхности:

$$K_0 [\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})] = 1 / (1/\alpha_1 + \delta_{\text{ст}}/\lambda_{\text{ст}} + \delta_{\text{отл1}}/\lambda_{\text{отл1}} + \delta_{\text{отл2}}/\lambda_{\text{отл2}} + 1/\alpha_2);$$

- температурный напор логарифмический на теплообменной поверхности:

$$\Delta t_{\ln 0} [\text{°C}] = (\Delta t_6 - \Delta t_M) / \ln(\Delta t_6 / \Delta t_M),$$

где $\Delta t_6 = \max ((T_1 - T_4); (T_2 - T_3))$ – разность температур на концах поверхности нагрева воды греющей и нагреваемой большая, °C; $\Delta t_{M01} = \min ((T_1 - T_4); (T_2 - T_3))$ – разность температур на концах поверхности нагрева воды греющей и нагреваемой меньшая, °C; G_1 и G_2 – расходы воды греющей и нагреваемой через пластинчатый теплообменник, кг/с; c_{p1} и c_{p2} – теплоемкости удельные воды греющей и нагреваемой при постоянном давлении, Дж/(кг · °C); T_1 и T_2 –

температуры воды греющей (сетевой) на входе и выходе пластинчатого теплообменника, °С; T_3 и T_4 – температуры воды нагреваемой (квартирной) на входе и выходе пластинчатого теплообменника, °С; α_1 и α_2 – коэффициенты теплоотдачи со стороны воды греющей и нагреваемой, Вт/(м² · °С); F_o – поверхность теплообмена пластинчатого теплообменника, м²; $\delta_{ст}$ и $\delta_{отл1,2}$ – толщина теплообменной пластины и отложений соответственно со стороны греющей и нагреваемой сред, м; $\lambda_{ст}$ и $\lambda_{отл1,2}$ – коэффициент теплопроводности стенки теплообменной поверхности и отложений соответственно со стороны греющей и нагреваемой сред, Вт/(м · °С)].

В рассматриваемом случае, при отсутствии сведений или частичных сведениях о расходах рабочих сред оценка теплового потока и коэффициента теплопередачи пластинчатого теплообменника выполняется на основе оценки отопительной нагрузки ЦТП. Далее на основе данных из практики разработки пластинчатых теплообменников выполняются оценки интенсивности теплообмена со стороны греющей и нагреваемой сред и термического сопротивления теплопередающей поверхности в текущем состоянии, а также в исходном состоянии без отложений. Сравнение коэффициента теплопередачи (термического сопротивления теплопередающей поверхности) в текущем состоянии с прогнозной оценкой этого параметра при отсутствии отложений позволяют в свою очередь дать оценку влияния промывки на эффективность работы пластинчатого теплообменника. Ниже приведены сведения, полученные на основе прогнозных оценок. Все оценки были выполнены с учетом рекомендаций [1, 2].

Результаты и обсуждение исследований.

Прогнозные оценки обеспечения покрытия отопительной нагрузки для ЦТП составили:

- по адресу № 1 перед ХТП 22 % – в начале отопительного сезона, 24 % – в конце отопительного сезона, после ХТП 31 % – в начале отопительного сезона от проектного (максимального) значения;
- по адресу № 2 перед ХТП 21 % – в начале отопительного сезона, 31 % – в конце отопительного сезона, после ХТП 38 % – в начале отопительного сезона от проектного (максимального) значения;
- по адресу № 3 перед ХТП 21 % – в начале отопительного сезона, 24 % – в конце отопительного сезона, после ХТП 41 % – в начале отопительного сезона от проектного (максимального) значения;
- по адресу № 4 перед ХТП 22 % – в начале отопительного сезона, 29 % – в конце отопительного сезона, после ХТП 34 % – в начале отопительного сезона от проектного (максимального) значения.

При приведенных выше отопительных нагрузках влияние состояния теплопередающих поверхностей пластинчатых теплообменников на их термическое сопротивление для ЦТП:

- по адресу № перед ХТП было на 25...60 % выше, чем после промывки;
- по адресу № 2 перед ХТП было на 69 % выше, чем после промывки;
- по адресу № 3 перед ХТП было в 2,1...3,4 раза выше, чем после промывки;
- по адресу № 4 перед ХТП было в 3,6 раза выше, чем после промывки.

Следующий уровень прогнозных оценок показал влияние состояния теплопередающих поверхностей пластинчатых теплообменников на коэффициент теплопередачи для ЦТП:

- по адресу № 1 перед ХТП было на 15-50 % выше, чем после промывки;
- по адресу № 2 перед ХТП было на 49 % выше, чем после промывки;
- по адресу № 3 перед ХТП было в 1,6...2,1 раза выше, чем после промывки;
- по адресу № 4 перед ХТП было в 2,3 раза выше, чем после промывки.

Анализ прогнозных оценок влияния химико-технологической промывки на эффективность работы пластинчатого теплообменника на основе данных, представленных в таблице 1, показал:

1. наличие отложений, имеющих возможно сложный состав и содержащих в том числе и характерные для региона органические элементы, на теплопередающих поверхностях со стороны греющей и нагреваемой сред может оказывать заметное влияние на термическое сопротивление теплообменных пластин в сторону его увеличения;
2. рост термического сопротивления теплообменных пластин из-за отложений сопровождается снижением коэффициента теплопередачи пластинчатого теплообменника, который характеризует эффективность работы изделия;
3. выполненные прогнозные оценки параметров теплопередачи в условиях ограниченного объема исходных данных (эксплуатационных параметров) несомненно носят грубый характер, но их сравнение в разные периоды отопительного сезона позволяет утверждать, что в результате химико-технологической промывки для объектов, приведенных в таблице 1:
 - в 1,25...3,6 раза снижается степень влияния состояния теплопередающих поверхностей на их термическое сопротивление;
 - в 1,15...2,3 раза возрастает степень влияния состояния теплопередающих поверхностей на эффективность работы изделия – коэффициент теплопередачи.

Заключение и выводы.

Основываясь на прогнозных сравнительных оценках коэффициентов теплопередачи (термических сопротивлений) теплообменных пластин за рассмотренный период отопительного сезона можно констатировать, что в результате химико-технологической промывки теплопередающих поверхностей коэффициенты теплопередачи увеличились – заметно возросла эффективность работы пластинчатых теплообменников на вышеупомянутых ЦТП. Рост эффективности работы пластинчатых теплообменников в оцененных выше пределах на данных ЦТП позволяет рекомендовать химико-технологическую промывку пластинчатых теплообменников для широкого применения, как действенное организационно-техническое мероприятие. Периодичность промывки должна определяться для каждого ЦТП (группы ЦТП) по величине и темпам снижения эффективности работы пластинчатых теплообменников.

Оценка влияния химико-технологической промывки пластинчатых теплообменников на тепловые потоки изделий и на экономичность ЦТП может быть определена только при наличии помимо данных о температурах и давлениях:

- сведений о расходах греющей и нагреваемой сред, количестве работающих теплообменников на момент замеров;
- паспортных данных ЦТП о проектной тепловой мощности на отопление и вентиляцию и соответствующем ей температурном графике со стороны греющей и нагреваемой сред, количестве теплообменников;
- паспортных данных пластинчатых теплообменников о проектной тепловой мощности и соответствующему ей температурному режиму и перепаду давления, количестве на единицу оборудования, площади, толщине и материалу пластин;
- приоритетов в работе – экономия поступающего тепла или обеспечение заданных нормативными документами метеорологических условий в зданиях, которые составляют отопительную нагрузку ЦТП.

Библиографический список

1. Кутателадзе, С.С. Справочник по теплопередаче / С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. – Москва-Ленинград: ГЭИ, 1959. – 414 с.
2. Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Отопление и теплоснабжение/ Щекин Р.В., Корневский С.М., Бем Г.Е., Скороходько В.И., Артюшенко М.А. – Киев: издательство «Будівельник», 1968. – 440 с.

Сведения об авторах

ФИО

Прохоров В.А.

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3817-3390
e-mail Proxorov_lta@mail.ru

ФИО Куликов А.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7746-2999
e-mail ltuttsu@mail.ru

ФИО Иванова И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

Аннотация

В настоящей статье представлены результаты прогнозных оценок коэффициентов теплопередачи (термических сопротивлений) пластинчатых теплообменников на нескольких ЦТП до и после химико-технологической промывки теплопередающих поверхностей и подтверждена эффективность проведенных мероприятий. Сформулированы требования к перечню характеристик, необходимых для точных (надежных) оценок эффективности работы теплообменников до и после промывок.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник; теплопередающая поверхность; коэффициент теплопроводности; термическое сопротивление; отложения; plate heat exchanger; heat transfer surface; thermal conductivity coefficient; thermal resistance; deposits.

УДК 621.565.944.1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 44.31.35

Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития

Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.

Введение

Тормоза служат для срочной остановки, контроля скорости движения и удержания трактора на спусках и подъемах [11].

Классифицировать тормоза можно по форме трущихся поверхностей – колодочные, ленточные и дисковые. Колодочные тормоза работают безотказно и надежно, способны обеспечить достаточную стабильность между тормозным моментом и приводным усилием [2], а также позволяют иметь компактный приводной механизм с большим передаточным числом. Такой тип тормозов применяется на таких тракторах как МТЗ-80, МТЗ-82 и других [9].

Ленточные тормоза компактные и герметичные, их величина тормозного пути не зависит от направления вращения диска. Ленточные тормоза из-за своей простоты конструкции, а также компактности и обеспечения высокой эффективности действия и простоты обслуживания наиболее распространены на тракторах [13]. Тормоза ленточного типа, по принципу действия бывают простого действия, двойного действия и плавающие.

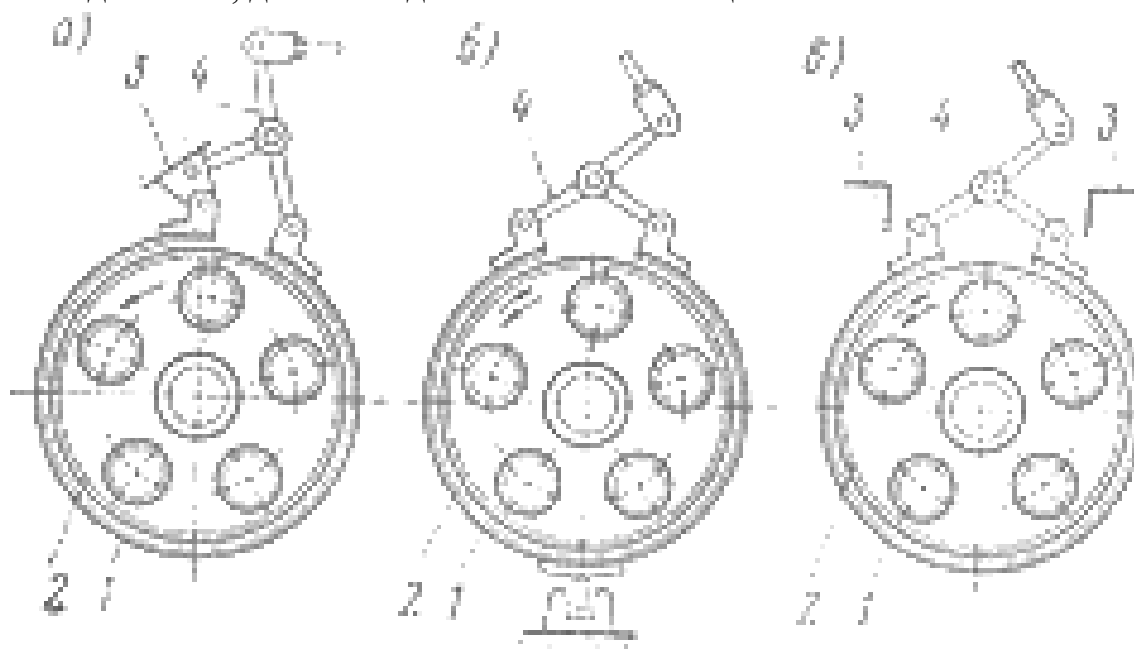


Рис. 1. Ленточный тормоз

Ленточный тормоз простого действия состоит из ленты из стали, которая охватывает тормозной барабан. Изнутри к ленте приделан фрикционный материал (Рис.1). Один конец ленты неподвижно приделан к корпусу трактора, а другой с помощью рычага соединен с педалью управления тормозом [16]. Когда на педаль нажимают, двулучий рычаг затягивает ленту со стороны сбегающей ветви на барабане и барабан останавливается. Ленточный тормоз

эффективно тормозит барабан только при условии его вращения в одну сторону.

У двойного ленточного тормоза лента зафиксирована в средней части, а ее боковые ветви соединяются с рычагом [19]. При таких условиях тормозной эффект не зависит от направления вращения барабана, так как при вращении в любом направлении одна из ветвей ленты выполняет главную работу, вторая ветвь является вспомогательной.

В плавающем ленточном тормозе оба конца ленты подвижны и соединены с рычагом шарнирно. Рядом с концами тормозной ленты есть два упора. Когда происходит торможение, лента, которая соприкасается с барабаном, перемещается в сторону его вращения на некоторый угол, пока один из концов ленты будет ограничен правым и левым упором, смотря куда будет происходить вращение барабана. В таком случае плавающий тормоз превращается в простой, но при этом его тормозной момент не будет зависеть от направления вращения тормозного барабана [12].

Колодочные тормоза также используются в колесных тракторах. Колодочный тормоз с равными перемещениями колодок состоит из тормозного барабана и двух колодок, которые прижимаются к барабану изнутри разжимным кулаком [6]. При торможении, под действием разжимного кулака тормозные колодки поворачиваются вокруг неподвижных осей крепления колодок и прижимаются к внутренней поверхности тормозного барабана, останавливая его.

Для регулирования зазора между тормозным барабаном и тормозными колодками, устанавливаются фрикционные накладки на неподвижные оси эксцентрикового типа. Поворачивая ось, тормозная колодка меняет свое положение по отношению к тормозному барабану. Разжимной кулак обеспечивает равное перемещение обеих колодок при торможении. Таким образом, колодки с одинаковым усилием прижимаются к тормозному барабану, что обеспечивает их одинаковую интенсивность изнашивания в эксплуатации и независимость тормозного момента [5] от направления вращения барабана. При этом сохраняется равновесие в тормозе, так как не создается радиальной силы на подшипники тормозного барабана.

В современных тракторах применяется два типа дисковых тормозов: открытый однодисковый и закрытый двух или многодисковый.

Тормоз представляет собой два тормозных диска с фрикционными накладками, установленными на шлицах вращающегося тормозного вала с возможностью передвижения в осевом направлении. Между ними есть два нажимных диска, которые соединены двумя серьгами и тягой с тормозной

педалью. Между нажимными дисками в их лунках со скосами установлены разжимные шары. Нажимные диски прижаты друг к другу пружинами.

Дисковые тормоза также полностью уравновешены, так как не нагружают подшипники тормозного вала. Более того, при небольшом нажатии на педаль торможения обеспечивает эффективное торможение [8].

Дисковые тормоза, которые работают в масле (рис.2) достаточно широко распространены у тракторов. Они состоят из корпуса, пакета дисков трения, поршня для сжатия дисков при включении тормоза, возвратных пружин, которые перемещают поршень в начальное положение и позволяют гладко выключать тормоз, и ступицы, связанной с тормозным валом [14]. В ступице выполнены специальные маслособирающие кольцевые канавки и отверстия, по которым под действием центробежной силы подается масло и охлаждает их [10]. Для более эффективного охлаждения также используют принудительный полив маслом дисков трения, для этого используют золотниковый клапан, соединенный с поршнем тормоза [18]. При торможении золотник открывает отверстие, по которому масло подается для охлаждения дисков тормоза, когда тормоз отжимают, отверстие перекрывается и подача масла на диски прекращается.



Рис. 2. Многодисковый тормоз, работающий в масляной ванне

В дисковых тормозах (Рис. 2), которые работают на масле, диски делают из стали, а фрикционные накладки делают на медной или железной основе. В ленточных тормозах, которые работают на масле, фрикционные накладки

делают из специальных полимерных композитных материалов с маслостойким связующим [15].

Достоинства и недостатки тормозных систем колодочного тормоза. Недостатком колодочного тормоза может являться необходимость в значительной приводной силе на колодки и относительно низкий КПД кулачкового привода (порядка 0.6-0.8). При этом различие приводной силы в колодках приводит к неравномерному изнашиванию разжимного кулака [4]. Для этого чтобы уменьшить трение между разжимным кулаком и тормозной колодкой ставят ролик, а в опорах кулака используют подшипники скольжения, это повышает КПД до 0.75-0.9. Однако учитывая факт попадания грязи в подшипники, КПД обычно не превышает 0.75. Из недостатков также стоит отменить процесс технического обслуживания таких тормозов, так как постоянно необходимо смазывать опоры кулака. Однако на все эти недостатки, колодочные тормоза все также активно используют на большом количестве тракторов [17].

Ленточные тормоза имеют очень ограниченное применение на тракторах из-за того, что при перемене направления вращения тормозного барабана существенно уменьшается эффективность торможения [1]. Поэтому из ленточных тормозов самое широкое действие получили плавающие ленточные тормоза, так как он не имеет такой проблемы в отличие от других видов ленточных тормозов.

Заключение

Учитывая, что транспортные скорости колесных лесопромышленных тракторов при движении под пологом леса небольшие, то существенным преимуществом обладают центральные тормоза [7], которые обеспечивают достаточный тормозной момент для частичной или полной остановки трактора [3]. Кроме того, трудозатраты при изготовлении, техническом обслуживании и ремонте значительно ниже, чем более сложных в изготовлении и ремонте многодисковых тормозах.

Библиографический список

1. Войнаш С.А. К вопросу об оценке устойчивости гусеничного сортиментовоза / Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.
2. Добрынин Ю.А. Об одной особенности вертикальной динамики лесного трактора с колесной формулой 4×4 / Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Мартынов Б.Г., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Назарова М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 275-281.
3. Кретинин В.И. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин / Кретинин В.И., Тепшов А.В., Кривоногова А.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном

- комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 90 с. С. 38-41.
4. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
 5. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
 6. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
 7. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретицин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
 8. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
 9. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
 10. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
 11. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
 12. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
 13. Фам Н.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком / Фам Н.Л., Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.
 14. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
 15. Эйвазов А.Ф. К вопросу о прочностных расчетах сооружений / Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынины Ю.А., Беспалова В.В., Диязетдинов Р.Р. // Научно-

техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 346-354.

16. Dobretsov R.Y. Power distribution mechanism for the transmission of forest tracked and wheeled vehicles / Dobretsov R.Y., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Andronov A.V. // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42046.
17. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
18. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
19. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Эйвазов А.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8022-1192
e-mail	thefezerstyle@gmail.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com

Аннотация

В статье выполнен анализ конструктивных особенностей тормозных механизмов колесных лесопромышленных тракторов. Приведены конструктивные исполнения механизмов тормозных систем, а также определены достоинства и недостатки различных видов тормозных механизмов и систем.

Ключевые слова: тормозная система, колесный лесопромышленный трактор, дисковые тормоза, тормоза колодочного типа, плавающие тормоза, достоинства, недостатки, перспективы развития.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.,
Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С.

Введение

Сортиментная технология лесозаготовок [2], являющаяся одним из средств повышения производительности труда и культуры производства в лесной отрасли [42], получила широкое распространение в Скандинавии, Европе и частично в США.

В качестве критерии оптимизации мощности двигателя целесообразно принимать основные потребительские свойства машины [8]:

- техническую производительность, м³;
- удельный технологический расход топлива, кг/м³.

Указанные критерии определяют, кроме того, основные технико-экономические показатели машин [5], на основе которых в дальнейшем может быть выполнена их стоимостная оценка [14]. Поскольку комплекс для сортиментной технологии заготовки древесины состоит из двух машин, существенно различающихся по рабочему циклу и функциям [6], определение рациональной мощности двигателя необходимо производить отдельно по каждой машине с учетом специфики их работы [3].

В общем виде техническая производительность [1] форвардера может быть определена по следующему выражению:

$$P_m = 3600 Q_n / T_u, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (1)$$

где Q_n – объем воза (пачки), м^3 ; $T_n = t_{xx} + t_n + t_{zx} + t_p$ – полное время технологического цикла, с; t_{xx} , t_n , t_{px} , t_p – соответственно время холостого хода, погрузки, грузового хода и разгрузки.

Время холостого и грузового ходов целесообразно определять по следующей формуле:

$$t_{xx(zx)} = L/V_{xx(zx)}, \text{ с}, \quad (2)$$

где L – расстояние трелевки (вывозки), м; $V_{xx(zx)} = Nk_3\eta_m/P_{xx(zx)}$ – скорость холостого и грузового ходов, м/с; N – мощность двигателя, кВт; η_m – КПД трансмиссии; k_3 – коэффициент загрузки двигателя по мощности; $P_{xx(zx)} = (G + Q_n\gamma)(f + l)$ – сила сопротивления движению форвардера; γ – плотность древесины, $\text{кН}/\text{м}^3$.

Время погрузки–разгрузки сортиментов может быть определено по выражению:

$$t_{n(p)} = Q_n t_{n(p)}^c / q_c, \text{ с}, \quad (3)$$

где q_c – объем одного сортимента, м^3 ; $t_{n(p)}^c$ – время погрузки – разгрузки одного сортимента, с.

Удельный технологический расход топлива, характеризующий энергоемкость процесса трелевки, определяется по формуле:

$$g_y = G_m / \Pi_m, \text{ кг}/\text{м}^3. \quad (4)$$

Техническую производительность харвестера целесообразно определять по следующей формуле:

$$\Pi_m = 3600 Q / T_u, \text{ м}^3/\text{час}, \quad (5)$$

где Q – объем одного дерева, м^3 ; $T_u = t_n + t_{nv} + t_{np} + t_{pc} + t_{nep}$ – время технологического цикла, с; t_n , t_{nv} , t_{np} , t_{pc} , t_{nep} – соответственно время наведения головки на дерево, повала, протаскивания, распиловки дерева и время переезда машины от одной группы деревьев к другой отнесенное к одному дереву.

В свою очередь, время повала (с):

$$t_{nv} = t_{pez} + t_{nad}, \quad (6)$$

где $t_{pez} = d/V_{pez}$ – время срезания дерева, с; d – диаметр срезаемого дерева, м; $V_{pez} = Nk_3\eta_{то}/P_{pez}$ – скорость срезания, м/с; $\eta_{то}$ – КПД гидросистемы технологического оборудования; $P_{pez} = P_{рез}(1 + \mu)$ – сила, необходимая для срезания, кН; $P_{рез} = P_1 n$ – сила резания, кН; μ – коэффициент резания; P_1 – усилие на одном зубе, кН; $n = d/h_u$ – количество зубьев, находящихся в пропилене; h_u – шаг пильной цепи, м.

Время, необходимое для протаскивания всего дерева при обрубке сучьев может быть определено по следующему выражению:

$$t_{np} = l_d / V_{np}, \text{ с}, \quad (7)$$

где l_d – длина дерева, м; $V_{np} = NK_3 \eta_{то} / P_{np}$ – скорость протаскивания, м/с; P_{np} – усилие на протаскивание, кН.

Время, необходимое для распиловки дерева на сортименты определяется по формуле:

$$t_{pc} = dl_d / V_{pez} l_c, \text{ с}. \quad (8)$$

Время, необходимое на переезд от одной обрабатываемой группы деревьев к другой, отнесенное к одному дереву, может быть определено по следующему выражению:

$$t_{nep} = t_{nep} / n_d, \text{ с}, \quad (9)$$

где n_d – количество деревьев, обрабатываемых с одной стоянки машины.

Анализ полученных зависимостей $n_m = f(N)$, $g_y = f(H)$ для форвардера (рис. 1), показывает, что при любой дальности возки с ростом его мощности увеличивается и производительность [11], однако темп ее роста, начиная с определенного уровня N начинает падать [15], стремясь к нулю, причем чем больше дальность возки, тем дольше сохраняется влияние мощности на рост производительности [9]. Аналогичная картина наблюдается и для харвестера, (рис. 2). При этом, чем больше диаметр срезаемого дерева [16], тем дольше сохраняется влияние мощности на рост производительности [18]. Из анализа рис.1, 2 видно также, что как в том, так и в другом случае рост производительности сопровождается увеличением расхода топлива на единицу продукции, тем которого с ростом мощности двигателя несколько снижается [12].

В целом, анализ полученных зависимостей $P_m = f(N)$ и $g_y = f(N)$ показывает, что для форвардера массой 10...11 т и грузоподъемностью 9...10 т, рациональные значения мощности двигателя должны составлять – 60...75 кВт (удельная мощность – 6,0...7,5 кВт/т), а для харвестера массой 9...12 т – 66...85 кВт (удельная мощность – 5,6...7,2 кВт/т). Обратившись к опыту зарубежных стран [17] производителей подобных машин [1], можно отметить, что основное число моделей форвардеров, приходящихся на группу с массой 10...11 т, имеют мощность двигателя 62...80 кВт, а харвестеров (75%), приходящихся на группу с массой 9...12 т, имеют мощность двигателя 65...90 кВт, что достаточно близко к полученным выше значениям [13].

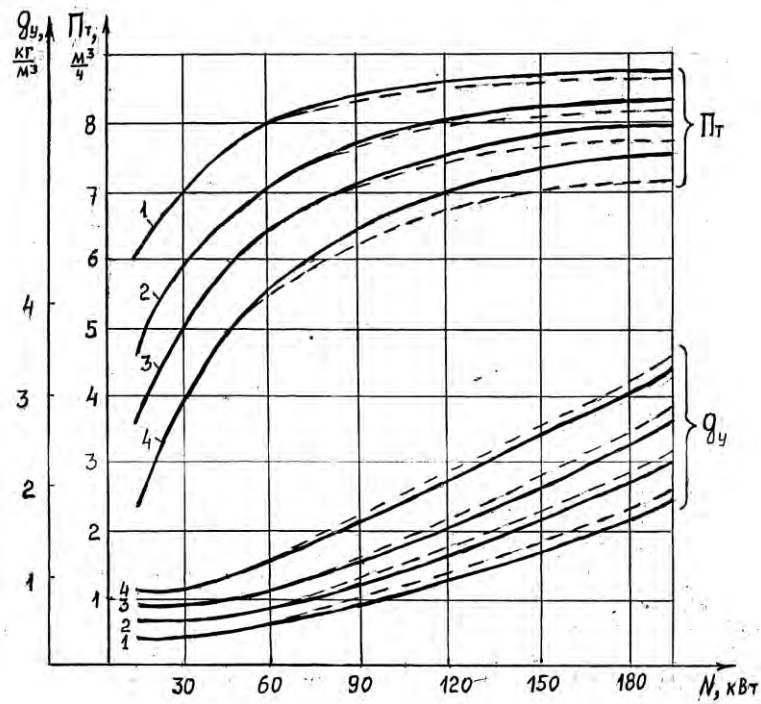


Рис. 1. Зависимость технической производительности форвардера от мощности его двигателя:

— без ограничения по скорости движения;
 - - с ограничением по скорости движения;
 1 - $L = 150$ м; 2 - $L = 300$ м; 3 - $L = 500$ м; 4 - $L = 800$ м

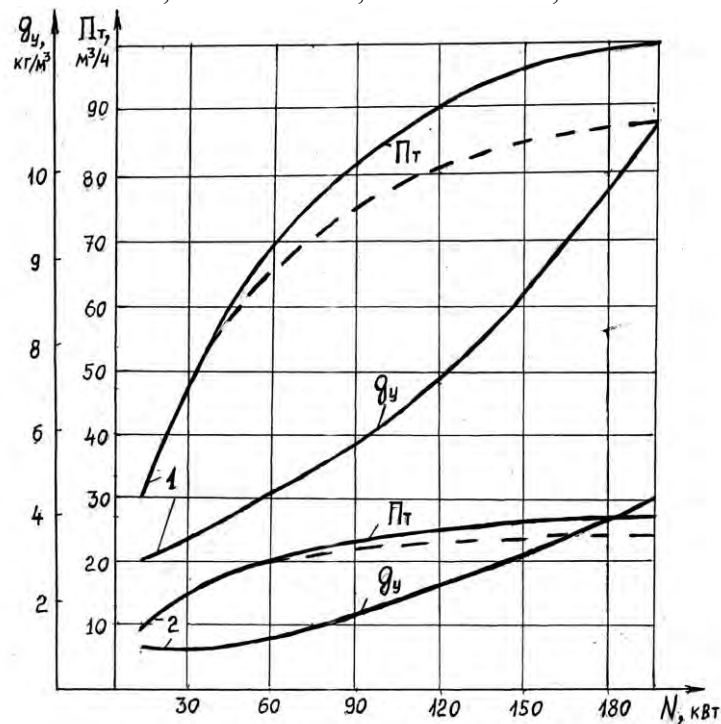


Рис. 2. Зависимость технической производительности харвестера от мощности его двигателя:

— без ограничений по параметрам технологического процесса;
 - - с ограничениями по параметрам технологического процесса;
 1 - $d = 0,32$ м, $l = 27,5$ м, $l_c = 6$ м; 2 - $d = 0,16$ м, $l = 21,0$ м, $l_c = 6$ м

Таким образом, подводя итог выбору рациональной мощности двигателя системы машин для сортиментной технологии заготовки древесины на рубках ухода [7], можно отметить, что рекомендуемые величины мощности двигателей форвардера и харвестера близки друг к другу, что дает возможность их унификации [10].

Заключение

Апробация предложенной методики применительно к системе машин для сортиментной технологии заготовки древесины на рубках ухода, подтвержденная результатами экспериментальных исследований, позволяет рекомендовать следующие рациональные значения мощности двигателя:

- форвардер массой 10...11 т – 60...75 кВт;
 - харвестер массой 9...12 т – 62...80 кВт,
- с целесообразностью унификации их двигателем одной марки.

Библиографический список

1. Алексеева С.В. Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин / Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Пендриков Е.С., Баринаева П.А., Кривоногова А.С. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 227-232.
2. Войнаш С.А. К вопросу об оценке устойчивости гусеничного сортиментовоза / Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.
3. Добрынин Ю.А. Об одной особенности вертикальной динамики лесного трактора с колесной формулой 4×4 / Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Мартынов Б.Г., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Назарова М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 275-281.
4. Кретинин В.И. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин / Кретинин В.И., Тепшев А.В., Кривоногова А.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 90 с. С. 38-41.
5. Кретинин В.И. Характеристика отказов лесопосадочных машин / Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
6. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
7. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической

- конференции «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
8. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
 9. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
 10. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
 11. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
 12. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
 13. Фам Н.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком / Фам Н.Л., Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.
 14. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
 15. Dobretsov R.Y. Power distribution mechanism for the transmission of forest tracked and wheeled vehicles / Dobretsov R.Y., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L., Andronov A.V. // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42046.
 16. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
 17. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
 18. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Добрынин Ю.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5526-1250
e-mail	dobryninua-ltu@mail.ru
ФИО	Нечаев В.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	mukeshaplay@gmail.com

Аннотация

В данной статье проведен сравнительный анализ различных эксплуатационных параметров многооперационных машин с целью оптимизации мощности двигателя. На основании экспериментальных исследований рекомендованы рациональные мощностные показатели двигателя для харвестера и форвардера.

Ключевые слова: удельная мощность, харвестер, форвардер, техническая производительность.

УДК 630*377

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Особенности процесса наплавки металлоизделий в пропан-бутане и его влияние на технологическую производительность

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.; Чураков А.В., Охупкин Т.А.

Введение.

Знание максимального значения технологической производительности дает полное представление о протекании процесса наплавки, а выявления зависимостей их изменения [13] позволяет установить взаимосвязи качественного формирования шва с технологическими параметрами [1]. Определение оптимальных условий протекания процесса является необходимым для изучения эксплуатационных и физико-механических характеристик металлопокрытия, которые также как и производительность процесса зависят от изменения его факторов [6].

Получение столь значительного количества информации сопряжено с достаточно большим количеством опытов [3]. Для сокращения их числа использовался аппарат математического или многофакторного планирования эксперимента, который достаточно хорошо изложен в технической литературе [5]. В качестве объекта исследований было принято металлопокрытие, образующиеся в результате нанесения электродного материала [4] в виде проволоки 1,6 Нп 30ХГСА.

Для исследования наплавки материалов согласно ГОСТ 2625-74 были изготовлены заготовки, выполненные в форме роликов с наружным диаметром 50 мм и внутренним – 16 мм, длиной 20 мм. Заготовки выполнялись из стали 45, как наиболее распространенного материала для деталей лесных машин, следующего химического состава: С = 0,45%; S_i = 0,25%, М_n = 0,034%; Р = 0,019%; С_r = 0,14%; N_i = 0,18%. Образцы для исследования закреплялись на специальном стержне и затем подвергались наплавки [13].

В качестве управляемых факторов при исследовании влияния последних на технологическую производительность могут быть использованы только независимые друг от друга параметры процесса наплавки в пропан-бутане. Напряжение U и сила тока I сварочной дуги вследствие конструктивных особенностей сварочного выпрямителя являются взаимозависимыми факторами [7], поэтому они должны быть представлены обобщающим фактором – мощностью электрической дуги [15]. Скорость подачи электродной проволоки зависит от силы тока сварочной дуги, поэтому в данных исследованиях не рассматривается в качестве управляющего фактора [17]. В ходе опытов используются образцы, имеющие одинаковый диаметр. Учитывая, что величина смещения с зенита A мало взаимосвязана с другими элементами процесса наплавки и влияет только на формообразование наплавленного шва принимается постоянной величиной на всех режимах [10].

Таблица 1. Управляемые факторы

№ п/п	Фактор	Код	–	0	+	Δ
1	Мощность электрической дуги $I \cdot U$, А·В	X_1	5250	6500	7750	1250
2	Скорость наплавки v_H , м/ч	X_2	25	30	35	5
3	Расход пропан-бутана $Q_{П-Б}$, л/ч	X_3	65	70	75	5
4	Расстояние до среза газовой горелки l_4 , мм	X_4	45	47,5	50	2,5
5	Расход кислорода, Q_K , л/ч	X_5	240	300	360	60

Поэтому при исследовании в качестве управляемых факторов были приняты: мощность электрической дуги [14], скорость наплавки или же частота вращения детали [2], расход пропан-бутана, расход кислорода, расстояние до среза газовой горелки [8]. Примечание: для уменьшения числа опытов ядро [16] плана представляется в виде полуреплики $2(5-1)$ с генерирующим соотношением $X=X_1 \cdot X_2 \cdot X_3 \cdot X_4$. Результаты исследований технологической производительности приведена в табл. 2.

Уравнение регрессии в кодированных факторах:

$$Y = 5,321 \cdot 10^{-3} + 1,08 \cdot X_1 \cdot 10^{-4} + 1,04 \cdot 10^{-4} \cdot X_1 \cdot X_2 + 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot X_2 \cdot X_5$$

Уравнение регрессии в натуральных факторах:

$$Y = 5,321 \cdot 10^{-3} + \left[1,08 \cdot \frac{(x_1 - 6500)}{1250} \cdot 10^{-4} \right] + 1,04 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{(x_1 - 6500)}{1250} \cdot \left[\frac{\left(x_2 - \frac{30}{3600} \right)}{5} \right] + 1,1 \cdot 10^{-4} \cdot \left\{ \left[\frac{\left(x_2 - \frac{30}{3600} \right)}{5} \right] \cdot \left[\frac{\left(x_5 - \frac{300 \cdot 1,4}{1000 \cdot 3600} \right)}{60 \cdot 1,4} \right] \right\}$$

$$Y = 1,1251 \cdot 10^{-2} - 4,0461 \cdot 10^{-7} \cdot Q_D + 5,9904 \cdot 10^{-5} \cdot Q_D \cdot v_H - 0,8854 \cdot v_H + 339,428 \cdot v_H \cdot Q_K - 31,28 \cdot Q_K$$

Таблица 2. Униформ-рототабельный композиционный план для $m = 5$

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	Y _{1j}	Y _{2j}	Y _{3j}	\bar{Y}_{ij}
1	+	+	+	+	+	1,065·10 ⁻³	1,050·10 ⁻³	1,070·10 ⁻³	1,062·10 ⁻³
2	-	+	+	+	-	0,845·10 ⁻³	0,975·10 ⁻³	0,795·10 ⁻³	0,872·10 ⁻³
3	+	-	+	+	-	1,180·10 ⁻³	1,130·10 ⁻³	1,210·10 ⁻³	1,173·10 ⁻³
4	-	-	+	+	+	0,845·10 ⁻³	0,875·10 ⁻³	0,680·10 ⁻³	0,800·10 ⁻³
5	+	+	-	+	-	1,150·10 ⁻³	1,165·10 ⁻³	1,145·10 ⁻³	1,153·10 ⁻³
6	-	+	-	+	+	0,740·10 ⁻³	0,805·10 ⁻³	0,710·10 ⁻³	0,752·10 ⁻³
7	+	-	-	+	+	1,170·10 ⁻³	1,255·10 ⁻³	1,240·10 ⁻³	1,222·10 ⁻³
8	-	-	-	+	-	0,930·10 ⁻³	0,950·10 ⁻³	0,960·10 ⁻³	0,947·10 ⁻³
9	+	+	+	-	-	1,085·10 ⁻³	1,045·10 ⁻³	1,060·10 ⁻³	1,063·10 ⁻³
10	-	+	+	-	+	0,835·10 ⁻³	0,880·10 ⁻³	0,890·10 ⁻³	0,868·10 ⁻³
11	+	-	+	-	+	1,045·10 ⁻³	0,965·10 ⁻³	1,045·10 ⁻³	1,018·10 ⁻³
12	-	-	+	-	-	0,990·10 ⁻³	0,985·10 ⁻³	0,990·10 ⁻³	0,988·10 ⁻³
13	+	+	-	-	+	0,910·10 ⁻³	0,970·10 ⁻³	0,970·10 ⁻³	0,950·10 ⁻³
14	-	+	-	-	-	0,930·10 ⁻³	0,835·10 ⁻³	0,940·10 ⁻³	0,902·10 ⁻³
15	+	-	-	-	-	1,100·10 ⁻³	1,070·10 ⁻³	1,140·10 ⁻³	1,103·10 ⁻³
16	-	-	-	-	+	0,800·10 ⁻³	0,820·10 ⁻³	0,760·10 ⁻³	0,793·10 ⁻³
17	-2	0	0	0	0	0,650·10 ⁻³	0,665·10 ⁻³	0,665·10 ⁻³	0,660·10 ⁻³
18	+2	0	0	0	0	0,930·10 ⁻³	1,030·10 ⁻³	1,010·10 ⁻³	0,990·10 ⁻³
19	0	-2	0	0	0	1,525·10 ⁻³	1,400·10 ⁻³	1,510·10 ⁻³	1,478·10 ⁻³
20	0	+2	0	0	0	1,130·10 ⁻³	1,400·10 ⁻³	1,250·10 ⁻³	1,260·10 ⁻³
21	0	0	-2	0	0	1,340·10 ⁻³	1,347·10 ⁻³	1,340·10 ⁻³	1,342·10 ⁻³
22	0	0	+2	0	0	1,330·10 ⁻³	1,385·10 ⁻³	1,465·10 ⁻³	1,393·10 ⁻³
23	0	0	0	-2	0	1,330·10 ⁻³	1,305·10 ⁻³	1,285·10 ⁻³	1,307·10 ⁻³
24	0	0	0	+2	0	1,310·10 ⁻³	1,400·10 ⁻³	1,485·10 ⁻³	1,398·10 ⁻³
25	0	0	0	0	-2	1,290·10 ⁻³	1,350·10 ⁻³	1,300·10 ⁻³	1,313·10 ⁻³
26	0	0	0	0	+2	1,200·10 ⁻³	1,125·10 ⁻³	1,070·10 ⁻³	1,132·10 ⁻³
27	0	0	0	0	0	1,390·10 ⁻³	1,245·10 ⁻³	1,270·10 ⁻³	1,302·10 ⁻³
28	0	0	0	0	0	1,310·10 ⁻³	1,320·10 ⁻³	1,345·10 ⁻³	1,325·10 ⁻³
29	0	0	0	0	0	1,290·10 ⁻³	1,310·10 ⁻³	1,385·10 ⁻³	1,328·10 ⁻³
30	0	0	0	0	0	1,260·10 ⁻³	1,340·10 ⁻³	1,325·10 ⁻³	1,308·10 ⁻³
31	0	0	0	0	0	1,265·10 ⁻³	1,380·10 ⁻³	1,315·10 ⁻³	1,320·10 ⁻³
32	0	0	0	0	0	1,305·10 ⁻³	1,335·10 ⁻³	1,320·10 ⁻³	1,320·10 ⁻³
Сумма								35,842·10 ⁻³	
Среднее значение производительности, кг/сек.								1,120·10 ⁻³	

Полученная зависимость имеет максимум $Y = 1,5 \cdot 10^{-3}$ кг/сек при $Q_d = 6500$ Вт; $v_H = 20$ м/час; $Q_K = 300$ л/час. Таким образом, как показали результаты исследований, для получения максимальных значений технологической производительности [11] необходимо выдерживать следующие технологические режимы наплавки в пропан-бутане $Q_d = 6500$ Вт; $v_H = 20$ м/час; $Q_{ПР} = 65$ л/час; $l_{Г} = 47,5$ мм; $Q_K = 300$ л/час.

Заключение

Наибольшее влияние на технологическую производительность [12] при наплавке в пропан-бутане оказывает:

- мощность электрической дуги, а также полуреплик мощности электрической дуги и скорости наплавки;
- скорости наплавки и расхода кислорода;
- изменение расстояния до среза газовой горелки от 45 до 50 мм, а также расхода пропан-бутана с 65 до 75 л/ч не оказывают существенного влияния

[9] на технологическую производительность при наплавке в пропан-бутане.

Библиографический список

1. Кретинин В.И. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин / Кретинин В.И., Тепшеев А.В., Кривоногова А.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 90 с. С. 38-41.
2. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
3. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
4. Кривоногова А.С. Сопротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
5. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
6. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
7. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
8. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
9. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
10. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
11. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниханов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
12. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на

соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.

13. Эйвазов А.Ф. К вопросу о прочностных расчетах сооружений / Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынины Ю.А., Беспалова В.В., Диязетдинов Р.Р. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 346-354.
14. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
15. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
16. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.
17. Shifrin, B.M. Development of a Feed Mechanism Control Model for KARA Master Circular Saw Based on SWITCH Technology / Shifrin, B.M., Yeliseev, I.V., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S., Pushkov, Y.L. // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEast 2020 – Vladivostok, Russia, 2020 – p. 9271629.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код	—
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Добрынин Ю.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5526-1250
e-mail	dobryninua-ltu@mail.ru
ФИО	Охапкин Т.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	okhapkin01@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены основные факторы, влияющие на значения технологической производительности, и дает полное представление о протекании процесса наплавки, а выявления зависимостей их изменения позволяет установить взаимосвязи качественного формирования шва с технологическими параметрами. Определены оптимальные условия протекания процесса, который необходимым для изучения эксплуатационных и физико-механических характеристик металлопокрытия, которые также как и производительность процесса зависят от изменения его факторов.

Ключевые слова: пропано-бутан, наплавка, технологическая производительность, исследование, объект исследования.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Основные направления синтеза оптимальных трелевочных систем

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Рачков И.Д.

Введение.

Синтез оптимальных трелевочных систем имеет ряд особенностей по сравнению с синтезом систем другого типа [10]. Он имеет своей целью создание таких трелевочных систем, у которых используются все их

возможности для достижения экстремальных (номинальных) значений наиболее важных технико-экономических показателей качества управления в эксплуатации, включая производительность, энергоемкость процесса тракторной трелевки леса, эффективный КПД, нагруженность силовых агрегатов, при удовлетворении заданных требований к остальным показателям [1].

При синтезе оптимальных трелевочных систем энергетические, механические, природоохранные и другие ограничения учитываются как факторы, определяющие возможности систем по реализации номинальных значений заданных показателей качества управления [2]. При этом экстремальное значение одного из показателей качества управления [2] оптимальной трелевочной системы реализуется только в том случае, если управляющее воздействие на объект управления и некоторые его координаты достигают ограничения и остаются определенное время ограниченными в процессе отработки задающего воздействия на систему при эксплуатации [3]. При оптимизации одного из качеств трелевочной системы обычно накладываются ограничения на другие ее свойства на лесозаготовках.

Качество синтезируемой оптимальной трелевочной системы зависит от правильности выбора критерия оптимальности, который характеризует эффективность управления, а достижение экстремума этого критерия является целью управления. В общем случае задачи синтеза оптимальных систем делятся на два класса задач [5]:

1. оптимизация программы управления, или определения оптимального управления $\bar{u}(t)$ как функции времени, переводящего объект управления из начального состояния в заданное и реализующего минимум критерия качества (определение алгоритма управляющего устройства разомкнутой системы, рис.1);
2. определение закона управления как функции фазовых координат объекта управления $\bar{u}(\bar{y})$, обеспечивающего движение объекта управления по фазовой траектории, на которой реализуется минимум критерия оптимальности (определение алгоритма управляющего устройства замкнутой системы [4].

При этом первый класс задач чаще всего используется как первый этап решения второго класса задач [9].

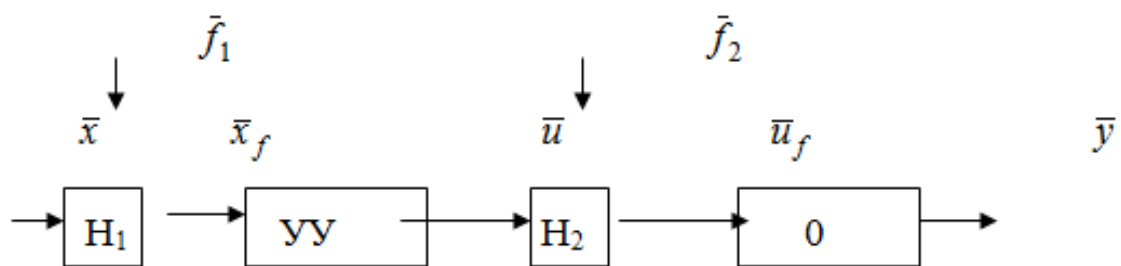


Рис. 1. Структурные схемы оптимальной трелевочной системы:

0 – объект управления; УУ – управляющее устройство (технологический модуль); \bar{x} – задающее воздействие от машиниста; \bar{u} – управление, формируемое управляющим устройством; $\bar{f}_1, \bar{f}_2, \bar{f}_3$ – возмущения, действующие на трелевочную систему; H_1, H_2 – операторы, определяющие преобразования функций $\bar{x}, \bar{y}, \bar{u}, \bar{y}$ совместно с возмущениями.

В настоящее время существует несколько направлений классификации оптимальных систем [11]. Широко используется классификация по оптимизируемым показателям качества систем управления [8]. При этом целесообразно различать следующие типы трелевочных систем:

- системы оптимальные по быстродействию;
- системы, оптимальные по расходу топлива;
- системы с минимальной энергией управления;
- системы с минимальными потерями управления.

При определении принципа действия перечисленных выше типов трелевочных систем целесообразно использовать понятие n -мерного фазового пространства, в качестве координат которого выбираются n линейно независимых функций, полностью определяющих изменение состояния системы во времени [14]. В частности, это могут быть функции, относительно которых записывается нормальная система дифференциальных уравнений объекта управления. Тогда состояние трелевочной системы в каждый момент времени будет определяться точкой в ее фазовом пространстве, а изменение состояния системы характеризуется траекторией ее изображающей или фазовой точки [16].

При этом, используя понятие фазового пространства, можно дать определения указанных выше типов оптимальных систем в более понятной форме. Оптимальными по быстродействию называются системы, управляющее устройство которых формирует такое допустимое управление $\bar{u}(t)$, которое превосходит в фазовом пространстве изображающую точку объекта управления из одного заданного состояния $\bar{y}(t_0)$ в другое $\bar{Y}(T)$ за минимальное время $T-t_0$.

Системы, оптимальные по расходу топлива, переводят в фазовом пространстве изображающую точку объекта управления из начального состояния в заданную область S с минимальным расходом топлива [13].

Системами с минимальной энергией управления называют системы, которые при переводе изображающей точки объекта управления из начального положения в заданное обеспечивают минимум функционала:

$$I(u) = \int_{t_0}^T u_2(t) dt \rightarrow \min \quad (1)$$

где T , t_0 , t – время; u – управление, формируемое управляющим устройством.

Системы с минимальными потерям управления, переводя изображающую точку объекта управления из начального состояния в заданное, минимизирует отклонение действительных координат объекта от предписанных значений.

Из перечисленных четырех типов оптимизируемых систем наиболее важной применительно к трелевочным системам является первый тип -системы оптимальные по быстродействию [6]. В этом случае при решении задачи синтеза оптимальной трелевочной системы достигаются номинальные значения таких показателей качества управления, как транспортная производительность, эффективный КПД, энергоемкость процесса тракторной трелевки леса [6, 12].

На показатели расхода топлива и нагруженности силовых агрегатов трелевочной системы накладывают ограничения [10]: расход топлива должен быть номинальным, а среднее квадратичное отклонение крутящего момента в трансмиссии не должно превышать допустимые значения [7]. Критериями оптимальности функционирования трелевочной системы являются минимум дисперсии скорости движения или минимум среднего квадратичного отклонения крутящего момента на ведущем колесе [12].

Заключение:

Из четырех направлений синтеза оптимальных трелевочных систем при формировании их качества в эксплуатации следует выбрать тип трелевочной системы, оптимальной по быстродействию. Это позволит достичь номинальных значений показателей производительности, энергоемкости процесса, эффективного КПД на лесозаготовках [10].

Библиографический список

1. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
2. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
3. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.

4. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретицин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // *Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»*. Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
5. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // *Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.*
6. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: *Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.*
7. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. Вып. 175. – СПб: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
8. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // *Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.*
9. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишнихизов А. // *Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.*
10. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
11. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // *Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.*
12. Фам Н.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком / Фам Н.Л., Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. // *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*. Вып. 226. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.
13. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // *Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.*
14. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.*
15. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // *Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.*

16. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Рачков И.Д.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	s30off@gmail.com

Аннотация

В статье представлена методика оценки синтеза трелевочных систем, которая позволяют качественно оценить основные направления синтеза трелевочных систем с учетом различных эксплуатационных показателей.

Ключевые слова: синтез оптимальной трелевочной системы, эффективный КПД, критерии оптимальности функционирования трелевочной системы.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Выбор оптимальной формы емкостей для хранения горюче-смазочных материалов

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Парфенопуло Г.К.

Введение.

В последнее время в нашей стране и за рубежом нефтепродукты [17], вода и другие жидкости [16] во многих случаях хранятся в емкостях сферической формы [1]. Известно, что при фиксированной площади поверхности S наибольший объем имеет шар (изопериметрическая проблема) [2]. В настоящей работе рассматриваются различные формы емкостей (шар, цилиндр и призма). Исследуемые нами поверхности имеют сливные и заливные отверстия, (общая площадь этих отверстий составляет 2% от площади S) [9, 18]. Таким образом, поставленная нами задача отличается от классической изопериметрической проблемы [6, 12].

В данной работе установлены конкретные количественные оценки [3] разности объемов рассматриваемых емкостей с отверстиями при условии [10], что площадь их поверхностей S фиксирована [5].

В случае емкости шаровой формы общая поверхность находится по формуле:

$$S = 4\pi R^2(1 - 0.002)$$

Отсюда радиус сферы равен:
$$R = \frac{\sqrt{S}}{7\sqrt{2\pi}} \quad (1)$$

Объем сферы равен:
$$V_1 = \frac{4}{3}\pi R^3$$

Выразим этот объем в терминах фиксированной площади поверхности S [14]. Имеем:

$$V_1 = AV, \quad (2)$$

где A – постоянный множитель, $A = \frac{125\sqrt{2}}{1029\pi}$.

$$V = S^{3/2} \quad (3)$$

В случае емкости с цилиндрической формой [15] с радиусом основания r и высотой h одна из этих переменных является параметром, которым можно варьировать [4]. Выберем этот параметр из условия, что объем цилиндра, является максимально большим [11]. Общая площадь поверхности цилиндра равна:

$$S = 2\pi r h + 2\pi r^2(1 - 0.002).$$

Отсюда:
$$h = \frac{S - 1,98\pi r^2}{2\pi r} \quad (4)$$

Объем цилиндра:
$$V_y = \pi r^2 h \quad (5)$$

Из (4) и (5) следует:
$$V_y = 0.5(Sr - 1.98\pi r^3)$$

Условия оптимальности объема определяется уравнением $V_y' = 0$. Отсюда следует, что

$$r_{\max} = \frac{\sqrt{S}}{5.94\pi} \quad (6)$$

и, согласно (4), получаем:

$$h = \frac{S - 1.98\pi r_{\max}^2}{2\pi r_{\max}} \quad (7)$$

В силу формул (6) и (7) оптимальный объем цилиндра характеризуется отношением:

$$\Delta_y = \frac{h_{\max}}{r_{\max}} \quad (8)$$

Объем оптимального цилиндра V_2 в соответствии с формулами (5) и (7) равен:

$$V_2 = BV \quad (9)$$

где B – постоянный множитель, $B = \frac{1}{\sqrt{53.46\pi}}$; объем V определяется формулой (3). В случае емкости в виде призмы [7] с квадратным основанием (сторона квадрата равна a) с высотой b , поверхность S определяется формулой:

$$S = 4ab - 1.98a^2 \quad (10)$$

В качестве параметра выбираем a . Получаем:

$$b = S - 1.98a^2 \quad (11)$$

Отсюда объем призмы:
$$V_{np} = 0.25(Sa - 1.98a^3) \quad (12)$$

Пусть V_3 оптимальный объем призмы. Он определяется уравнением $V_{np}' = 0$. Находим:

$$a_{\max} = \frac{\sqrt{S}}{\sqrt{5.94}} \quad (13)$$

Согласно формуле (11):

$$\delta_{\max} = \frac{S - 1.98a_{\max}^2}{4a_{\max}}$$

Объем оптимальной призмы V_3 в соответствии с формулами (11), (12), (13) равен:

$$V_3 = \frac{V}{231.84}$$

где V дается формулой (3).

Относительные величины δ_2 и δ_3 выигрыша объема при замене цилиндра на шар [8] и призмы на шар [13] даются следующими равенствами:

$$\delta_2 = \frac{V_1 - V_2}{V_1} 100\% \qquad \delta_3 = \frac{V_1 - V_3}{V_1} 100\%$$

По формулам (2), (9) и (14) находим $\delta_2=21\%$: $\delta_3=27\%$.

Заключение

Даны количественные оценки экономии материала при изготовлении емкостей для хранения продукции в зависимости от их формы. Показано, что наибольший эффект достигается при использовании сферической поверхности [12]. Замена цилиндра на сферу дает 21% экономии листового металла, в то время как использование цилиндра вместо призмы экономия материала составит 6% [11, 12].

Библиографический список

17. Алексеева С.В. Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин / Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Пендриков Е.С., Барина П.А., Кривоногова А.С. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 227-232.
18. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
19. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
20. Кривоногова А.С. Сопротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
21. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
22. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.

23. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
24. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
25. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
26. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
27. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишнихизов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
28. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
29. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
30. Фам Н.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком / Фам Н.Л., Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.
31. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
32. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
33. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
34. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9526-9599
e-mail	mex_kn2011@mail.ru
ФИО	Парфенопуло Г.К.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9526-9599
e-mail	parfenon73@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы определения оптимальных геометрических параметров емкостей для хранения горюче-смазочных материалов в условиях лесозаготовительных предприятий, с целью снижения металлоемкости изделия.

Ключевые слова: оптимальный объем, сфера, цилиндр, фиксированная площадь поверхности.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Основные показатели технического уровня лесных тракторов

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В.

Введение.

Эффективность лесозаготовительного производства зависит от технического уровня применяемых машин, организации их технической и производственной эксплуатации [6]. Технический уровень любой машины базируется на применяемых технических решениях, ее параметрах и потенциальных свойствах [8]. Современное состояние и технический уровень отечественных лесных машин уступает более качеству импортных, особенно лесосечным машинам [9].

В современных условиях остро ставится вопрос о конкурентоспособности лесных машин на мировом рынке лесного машиностроения [11]. Неудовлетворительная конкурентоспособность отечественных лесных тракторов определяется в основном низким их техническим уровнем [4].

В развитых современных отраслях машиностроения разработаны научно-обоснованные системы, технического уровня и потенциальных свойств разработок или объекта, поиска прогрессивных технических решений [5]. Разработана общая теория прогнозирования на основе математического аппарата, позволяющая прогнозировать технический прогресс в отрасли или подотрасли на ближайшую, среднесрочную и отдаленную перспективу. Совокупность мероприятий повышения технического уровня [3] можно признать методологией, которая в современном представлении есть научно обоснованная структура, включающая логическую организацию, методы и средства выполнения всего комплекса работ [10].

Отсутствие научно-обоснованной системы прогнозирования научно-технического прогресса в лесозаготовительной промышленности [13], разработанной с участием широкого круга ученых и представителей эксплуатирующих организаций [16], привело к падению конкурентоспособности отечественных машин и оборудования [15].

В целях обеспечения объективного анализа и оценки технического уровня и качества изготовления машин различного назначения [14], важное место отводится методам оценки, обоснованию показателей, выбору сравнительных аналогов и других факторов [12]. Оценка технического уровня лесосечных машин должна быть согласована с ГОСТ 15001-73 «Разработка и постановка продукции на производство [1]. Основные положения» и проводить систематически при завершении работ на каждом из этапов на всех стадиях их создания и производства [2]. Эти работы могут быть формализованы в следующие этапы:

- определение номенклатуры показателей качества;
- установление количественных значений показателей качества на основе периодических испытаний;
- выбор базового образца;
- выбор метода оценки технического уровня;
- выбор и определение лучших отечественных и зарубежных аналогов;
- разработка нормативных базовых показателей;
- планирование показателей дифференцированно по категориям качества;
- определение диапазона изменения обобщенного показателя технического уровня для отнесения изделия к категории качества;
- проведение анализа результатов периодических испытаний и разработка организационно-технических мероприятий, направленных на достижение запланированных значений показателей;
- реализация намеченных организационно-технических мероприятий;
- аттестация продукции по категориям качества.

Применительно к лесным тракторам необходимо выбрать базовый образец и номенклатуру основных прогнозируемых параметров и показателей [7]. Анализ исследований показывает, что на стадии технического проекта [1, 9], подготовки конструкторской документации, предварительных и приемочных испытаний, а также принятия решения о постановке на производство за базовый образец принимали планируемое изделие, совокупность показателей технического уровня которого заложены в техническое задание [9].

При оценке технического уровня серийных лесных тракторов за базовый образец может принят конкретный образец установившегося отечественного и зарубежного производства или показатели технического уровня перспективного образца, или условного (планируемого) образца, а также показатели, установленные в технических условиях. Номенклатура показателей качества устанавливается в стандартах системы показателей качества для конкретной машины или группы машин.

Номенклатура основных прогнозируемых показателей технического уровня тракторов включает [2]: номинальную эксплуатационную мощность двигателя, скорость движения трактора при номинальном тяговом усилии, эксплуатационную массу, базу, колеи, дорожный просвет, энергонасыщенность, коэффициент статического распределения вертикальной нагрузки по осям (для колесного трактора) [8].

Основным нормативно-техническим документов при оценке технического уровня является утвержденная в установленном порядке карта технического уровня и качества.

С целью оценки технического уровня сельхозмашин определяются коэффициенты весомости для каждой из групп показателей и каждого из показателей, входящих в эти группы [9], а также значения относительных показателей технического уровня оцениваемого и базового образца.

Для определения обобщенного показателя технического уровня машины рассматриваются значения обобщенных показателей для каждой из групп показателей по формуле:

$$K_j = \sum_{i=1}^i q_i b_i ,$$

где j – число показателей в группе; q_i – относительный единичный показатель; b_i – коэффициент весомости единичного показателя.

При этом должно быть выдержано условие $0,25 \leq q_i \leq 1,5$. Отклонение от установленных пределов показывает, что следует выбирать другой базовый образец.

Значение обобщенного показателя $K_{\text{ту}}$ технического уровня машины находят на основе значения обобщенных показателей для каждой из групп и их коэффициентов весомости по формуле

$$K_{\text{ту}} = \sum_{j=1}^j K_j m_j ,$$

где j – число групп показателей; m_j – коэффициент весомости для группы показателей; K_j – обобщенный показатель j -й группы показателей.

Если значение обобщенного показателя технического уровня оцениваемого изделия получено ниже единицы ($K_{\text{ту}} < 1$), то можно сделать вывод, что его технический уровень не соответствует базовому образцу.

Анализ показал, что применительно к лесопромышленным тракторам перечисленных показателей технического уровня недостаточно. Следовательно, для оценки технического уровня лесопромышленных тракторов необходимо вводить показатели надежности [7].

К современным показателям оценки технического уровня лесосечных машин, по нашему мнению, следует отнести среднее и максимальное давление движителя на опорную поверхность, которое определяет экологическую совместимость машины с почвогрунтом и ее проходимость [10].

В исследовании мобильных машин среднее давление сравнивают с несущей способностью почвогрунтов, и по данному показателю оценивается экологическая совместимость системы «двигатель – почвогрунт». Кроме этого, соотношения давления движителя на опорную поверхность и ее несущей способности определяет проходимость машины и энергозатраты транспортного

процесса [8]. Следовательно, давление движителя трактора на почвогрунт является как экологическим, так и энергетическим показателем технического уровня.

Заключение

1. В номенклатуру показателей технического уровня целесообразно включить: производительность, надежность, универсальность [9].
2. Необходимо обосновать и ввести новый эколого-энергетический показатель технического уровня – среднее и максимальное давление на лесные почвогрунты [11].

Библиографический список

1. Добрынин Ю.А. Об одной особенности вертикальной динамики лесного трактора с колесной формулой 4×4 / Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Мартынов Б.Г., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Назарова М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 275-281.
2. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
3. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
4. Кривоногова А.С. Сопротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
5. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
6. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
7. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
8. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишнихизов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
9. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.

10. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
11. Фам Н.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком / Фам Н.Л., Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.
12. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
13. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
14. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
15. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.
16. Shifrin, B.M. Development of a Feed Mechanism Control Model for KARA Master Circular Saw Based on SWITCH Technology / Shifrin, B.M., Yeliseev, I.V., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S., Pushkov, Y.L. // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEast 2020 – Vladivostok, Russia, 2020 – p. 9271629.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru

ФИО Чураков А.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9526-9599
e-mail mex_kn2011@mail.ru

ФИО Вишневу Д.В
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail mr.davinson18@gmail.com

Аннотация

Повышение конкурентоспособности отечественных лесных тракторов на основе показателей технического уровня.

Ключевые слова: технический уровень, лесные машины, давление движителя на лесные грунты.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Анализ взаимодействия лесомелиоративной машины с предметом труда

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Ардентиова А.Д.

Введение.

Открытые каналы лесосушительной сети являются главными элементами гидролесомелиоративной системы и от их технического состояния [3], непосредственно, зависит надежность функционирования сети, выражающаяся в обеспечении устойчивого дополнительного прироста осушаемого древостоя [6], соответствующего производительности лесных почв.

Процесс фрезерования грунта при строительстве лесомелиоративного канала условно можно разбить на три этапа [1]:

1. Резание грунта и отделение стружки от массива;
2. Перемещение стружки по лобовой поверхности рабочего органа после его выхода из массива;
3. Свободное движение стружки – метание.

Очевидно, что выяснение влияния отдельных параметров фрезерования на энергоемкость чистого резания грунта и отделение почвенной стружки от массива возможно только экспериментальным путем [11]. Энергозатраты на выполнение второго и третьего этапов фрезерования можно определить расчетным путем, разработав для этой цели соответствующую математическую модель [13].

Если теперь из общих энергозатрат на весь процесс фрезерования, найденных экспериментально [12], вычесть энергозатраты, идущие на выполнение второго и третьего этапов, то возможно определение затрат энергии на выполнение первого этапа. Затраты энергии будем оценивать величиной работы сил взаимодействия стружки с лобовой поверхностью ножа [4]. Элементарную работу этих сил за малый угол поворота фрезы для режущего элемента в виде прямого ножа можно определить по формуле [2, 3]:

$$\Delta A = m[2\omega x' + g\sin(\gamma_0 + \omega t)]l_{cm}b^{-1}[l_{cm}b^{-1}(a+x)\omega\Delta t + f\Delta x] \quad (1)$$

Естественно предположить, что полная работа по перемещению и метанию стружки с одного рабочего органа за один оборот фрезы будет равна сумме элементарных работ:

$$A = \sum_{k=1}^n \Delta A_k, \quad (2)$$

где: n – число промежутков времени, на которые разбита общая продолжительность схода стружки с поверхности ножа.

В формуле (2) приняты следующие обозначения:

m – масса почвенной стружки, определяемая как:

$$m = \rho l_{cm}r^2(\gamma_0 - 0,5\sin 2\gamma_0); \quad (3)$$

где ω – угловая скорость вращения фрезы; γ_0 – угол поворота рабочего органа до выхода из массива; ωt – угол, в диапазоне которого сходит стружка с лобовой поверхности рабочего органа; l_{cm} – ширина почвенной стружки:

$$l_{cm} = b\sin\alpha; \quad (4)$$

где b – ширина ножа; α – угол резания; f – коэффициент трения грунта о сталь; x – координата относительного перемещения стружки вдоль продольной оси ножа; x' – относительная скорость стружки; a – параметр, определяемый соотношением:

$$a = r - x_k; \quad (5)$$

где r – радиус фрезы; x_k – длина пути, проходимого стружкой при ее сходе с поверхности ножа; Δx – перемещение стружки; Δt – малый отрезок времени, за который вычисляется элементарная работа; ρ – плотность грунта.

Относительная координата x и относительная скорость x' стружки определяются путем интегрирования дифференциального уравнения относительного движения:

$$x'' + 2f\omega l_{cm} b^{-1} - \omega^2(a+x) = g[\cos(\gamma_0 + \omega t) - fl_{cm} b^{-1} \sin(\gamma_0 + \omega t)] \quad (6)$$

Угловая скорость вращения фрезы ω определяется из выражения:

$$\omega = 2\pi v_0 (z l_{cm})^{-1}; \quad (7)$$

где: v_0 – скорость движения базового трактора; z – число ножей.

Величина глубины резания h связана радиусом r соотношением:

$$\cos \gamma_0 = 1 - hr^{-1} \quad (8)$$

Величина x_k зависит от вида фрезеруемого грунта, от его влажности, связности и других характеристик [8]. Поэтому, в какой-то мере, величину x_k можно рассматривать как некоторую обобщенную характеристику разрабатываемого грунта [5]. Чем крепче и связнее грунт, тем величина x_k будет больше. Априорно примем, что для легких грунтов величина x_k будет составлять не более 15...20% от радиуса рабочего органа.

Пользуясь вышеприведенными формулами и считая заданными следующие величины:

1. $r = 0,25$ м;
2. $b = 0,08$ м;
3. $\gamma_{уд} = 18\,500$ Н/м³;
4. $f = 0,55$;
5. $v_0 = 1,5$ м/с,

будем варьировать, при расчетах на ЭВМ, параметрами:

1. $h = 0,05 \dots 0,20$ м;
2. $l_{ст} = 0,016 \dots 0,048$ м;
3. $z = 3 \dots 6$;
4. $x_k = 0,05 \dots 0,15$ м.

Такие расчеты были проведены как для прямого ножа, так и для ножа, имеющего крутку вокруг продольной оси [9].

Заключение.

Проведенные теоретические исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. Увеличение глубины резания грунта вдвое приводит по сравнению с таким же увеличением ширины почвенной стружки к возрастанию энергозатрат примерно на 78%, но при этом и производительность фрезы возрастает более чем на 22%. С точки зрения энергозатрат выгоднее увеличивать ширину почвенной стружки, чем глубину резания грунта [7];

2. Увеличение параметра x_k вдвое дает примерно такое же увеличение энергозатрат;
3. При переходе от использования 3 режущих элементов к 6, при прочих равных условиях энергозатраты уменьшаются почти в 3,5 раза (т.к. существенно снижаются кориолисова и центробежная силы инерции, приложенные к стружке) [10].

Библиографический список

1. Войнаш С.А. К вопросу об оценки устойчивости гусеничного сортиментовоза / Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.
2. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
3. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
4. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
5. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
6. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
7. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниханов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
8. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
9. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
10. Фам Н.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком / Фам Н.Л.,

Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.

11. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
12. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
13. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9526-9599
e-mail	mex_kn2011@mail.ru
ФИО	Ардентова А.Д.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации

SPIN-код

—

e-mail

a-ardentova@list.ru

Аннотация

Рассмотрены влияние конструктивных и технологических параметров на процесс энергоемкости фрезерования грунта при строительстве лесомелиоративных каналов.

Ключевые слова: лесомелиоративный канал, фрезерование грунта, энергоемкость фрезерования грунта.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Особенности производственно-техническая инфраструктуры предприятий технического сервиса в лесного комплекса

**Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Парфенопуло Г.К.,
Лазуткина А.А.**

Введение.

Значительные изменения в конструкции лесных машин, применение новых конструкционных материалов, изменение нормативно-законодательной базы [10], все это приводит к росту объемов таких услуг, как предпродажная подготовка, гарантийное и после гарантийное техническое обслуживание, диагностирование механизмов и систем, влияющих на безопасность движения и экологию и др. [5]. Все эти факторы накладывают свой отпечаток на производственно-техническую инфраструктуру лесопромышленного комплекса [2].

Основными участниками технического сервиса в лесопромышленном комплексе являются [6]:

- лесопромышленные потребители технических средств и услуг по их содержанию в исправном состоянии (технический сервис);
- исполнители услуг технического сервиса;
- производители или изготовители технических средств, выступают в роли продавцов своей продукции.

К первой группе участников технического сервиса следует отнести: акционерные общества (АО), леспромхозы (ЛПХ), лесхозы и сельхозы.

Исполнителями технического сервиса являются:

- региональный (областной) центр технического сервиса;
- специализированные ремонтные предприятия;

- районный (кустовой) технический центр;
 - независимые дилерские, ремонтные сервисные предприятия (участки).
- К третьей группе участников технического сервиса относятся:
- завод изготовитель конечного изделия (трактора или автомобиля);
 - завод изготовитель комплектующих изделий;
 - завод изготовитель навесного оборудования.

В данной работе мы рассматривали только работу исполнителя услуг технического сервиса [5].

Исполнителями технического сервиса в лесопромышленном комплексе являются Ремонтно-механические заводы (РМЗ), ремонтно-механические мастерские (РММ), пункты центрального технического обслуживания (ПЦТО). По опыту зарубежной [12] и отечественной практики в настоящее время появляются исполнители нового типа, такие, как центры технического сервиса и дилеры [3].

Центр технического сервиса – это предприятие по оказанию услуг и выполнению работ по обеспечению потребителя техническими средствами производства [11], эффективному использованию и поддержанию их в исправном состоянии в течение установленного заводом изготовителем моторесурса [1].

Различают центры технического сервиса по зоне деятельности: региональные (республика, край область) районные; по виду продукции: тракторные автомобильные дорожно-строительных машин, гидроагрегатов и т.п.; по отношению к заводу изготовителю: фирменные и независимые; по структуре услуг: специализированные и универсальные [4].

Основные функции регионального технического центра сервиса: получение от изготовителя машин [7], их разгрузка, приемка, досборка, обкатка, подготовка к эксплуатации (регулирование), доставка потребителю, обучение его правилам эксплуатации, выполнение обязанностей изготовителя по гарантиям, ремонт и обслуживание по заявкам потребителя, обеспечение запасными частями, оборудованием для обслуживания и ремонта, сбор информации о качестве проданных машин при эксплуатации для завода изготовителя при эксплуатации, изучение потребности в реализуемой продукции, ее реклама [5].

Головной технический центр (ГТЦ) в лесопромышленном комплексе создают при ремонтном механическом заводе, РММ или ПЦТО леспромхоза.

В данной работе рассмотрим задачи и функционирование производственно-технической инфраструктуры ГТЦ

Инфраструктура (от латинского *infra* – ниже, и под *structura* – строение, расположение) – это комплекс отраслей хозяйства обслуживающих основное

производство какого-либо предприятия. Объектами инфраструктуры в промышленном производстве являются системы, здания и сооружения, обеспечивающие стабильное и оптимальное ведение технологического процесса предприятий конкретной отрасли народного хозяйства [9].

В понятие инфраструктуры головного технического центра (ГТЦ) лесопромышленного комплекса входят системы обеспечения технологического процесса сырьем и запасными частями, топливно-смазочными материалами (ТСМ), тепловой и электрической энергией, сжатым воздухом, водой, канализацией, очисткой сточных вод и воздушной среды в помещениях предприятия, утилизацией и обезвреживанием отходов производства, транспортные системы и сети, склады ремонтные службы, системы бытового и социального обслуживания, а также управление производством [6].

Взаимное расположение основных технологических объектов и объектов инфраструктуры определяется генеральным планом головного технического центра [3]. При проектировании генерального плана ГТЦ учитываются местные условия строительства и внешние связи, согласованные при выборе площадки, а также природные условия площадки. Площадка для строительства должна удовлетворять требованиям экологической эксплуатации предприятия [10]. Размеры предприятия должны быть минимально необходимыми с учетом рациональной плотности застройки без излишних площадей и преувеличенных разрывов между зданиями. Размеры площадки и ее конфигурация должны обеспечивать расположение зданий и сооружений в соответствии с производственным процессом. Необходимо предусмотреть участки для размещения объектов инфраструктуры, относящихся к предприятию: склады ТСМ с топливораздаточными колонками, котельной, трансформаторной подстанцией, артезианской скважиной для водоснабжения, очистных сооружений, площадок для хранения техники поступающей в ремонт и площадок для техники прошедшей техническое обслуживание (ТО) и текущий ремонт (ТР), объектов пожаротушения, складского хозяйства, службы главного механика ГТЦ и административного корпуса [5].

Все объекты основного производства ГТЦ и объекты инфраструктуры должны размещаться на генеральном плане с учетом розы ветров. Роза ветров – это график, на котором изображено распределение повторяемости различных направлений ветра в данном месте земли, или значений средней и максимальной скоростей ветра за месяц, сезон, год по основным румбам.

Состояние производственно технической инфраструктуры на предприятиях технического сервиса в лесопромышленном комплексе в целом можно характеризовать удовлетворительно. Однако слабым звеном в цепочке объектов инфраструктуры является состояние, или вообще отсутствие

очистных сооружений. Хотя в отраслевом Положении о ТО и ТР лесной техники четко прописано требование о необходимости иметь очистные сооружения для очистки промышленных и бытовых вод [3].

Кроме того, без наличия очистных сооружений органы Санэпиднадзора не разрешают выполнять капитальное строительство, как жилого фонда, так и промышленных зданий [5].

Для группы предприятий связанных с эксплуатации и техническим обслуживанием автотракторной техники согласно ГОСТ Р 17.2.206-99. Установлен перечень экологических требований по следующим позициям:

- доведение токсичности отработавших газов автомобилей до нормы действующих стандартов;
- расчет предельно-допустимых выбросов (ПДВ) до установленных норм;
- расчет предельно-допустимых сбросов до установленных норм;
- разработка и заполнение экологического паспорта;
- полное прекращение сброса неочищенных хозяйственно-бытовых и производственных сточных вод водоемы в почву и в канализацию;
- доведение до предельно-допустимой концентрации (ПДС) содержание основных загрязнителей сточных вод по взвешенным веществам и нефтепродуктам;
- доведение до предельно-допустимой концентрации вредных веществ, выделяемых при работе на аккумуляторном, сварочном, кузнечном, малярном и медницком участках.
- сбор хранение и сдача отходов производства непосредственно на пункты приема;
- доведение выбросов котельных установок до предельно-допустимой концентрации, работающих на угольном, нефтяном и газовом топливе;
- содержание территории ГТЦ в надлежащем состоянии;
- наличие санитарно-защитной зоны;
- создание экологической службы предприятия.

Заключение.

На основании обзора исследований и практического опыта можно сделать вывод, что объекты инфраструктуры ГТЦ оказывают существенное влияние не только на себестоимость выполнения ТО и ТР лесной техники, но и на экологию природы и сохранения здоровья работающих [5, 6, 11].

Библиографический список

1. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической

- конференции «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
2. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
 3. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
 4. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
 5. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишнихизов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
 6. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
 7. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
 8. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
 9. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
 10. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
 11. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.
 12. Shifrin, B.M. Development of a Feed Mechanism Control Model for KARA Master Circular Saw Based on SWITCH Technology / Shifrin, B.M., Yeliseev, I.V., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S., Pushkov, Y.L. // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEast 2020 – Vladivostok, Russia, 2020 – p. 9271629.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9526-9599
e-mail	mex_kn2011@mail.ru
ФИО	Парфенопуло Г.К.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	parfenon73@mail.ru
ФИО	Лазуткина А.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	annalazutkina11@gmail.com

Аннотация

Особенности производственно-технической инфраструктуры предприятий сервиса лесного комплекса.

Ключевые слова: производственно-техническая инфраструктура, сервис лесных машин.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Стендовые испытания тормозной системы автомобиля с пневматическим приводом

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Тороцин П.С.

Введение.

Анализируя методику испытаний автомобилей показывает, что при определенных условиях испытаний порожнего автомобиля роликовые стенды позволяют оценить техническое состояние рабочей тормозной системы. Методика испытаний базируется на двух положениях [6].

Первое заключается в том, что испытание тормозных свойств порожнего автомобиля осуществляется при пониженном давлении воздуха в пневмосистеме P_{∂} , которое меньше, чем указано в инструкции по эксплуатации автомобилей P_H .

Второе положение основано на том, что максимальное усилие, развиваемое тормозным механизмом, определяется расчетным путем по результатам испытаний порожнего автомобиля на роликовом стенде с пониженным давлением воздуха в пневмосистеме:

$$m_{\max} = F_{k\max} \cdot \frac{P_H - 0,4}{P_{\partial} - 0,4}, \quad (1)$$

где 0,4 – величина давления воздуха, расходуемая на заполнение пневмосистемы в момент экстренного торможения, Н.

Рекомендуемое давление в пневмоприводе грузовых автомобилей при проверке их тормозных качеств на роликовых стендах по формуле (1) $P_{\partial} = 19,6-24,5$ Н. Из этого следует, что проверка технического состояния тормозного механизма колеса осуществляется не в экстремальном, а в частичных режимах [9]. Правомерность этого положения основана на линейности функций $F_m = f(P)$.

Для реализации этой методики необходимо знать предельные значения F_{mnp} , F_{knp} и P_{∂} применительно к передним и задним колесам автомобиля.

Рассмотрим, на основании каких критериев можно определить эти диагностические параметры [1].

Основным критерием при определении этих параметров являются тормозные свойства груженого автомобиля. В соответствии с требованиями отраслевого стандарта автомобильной промышленности ОСТ 37.001.016 тормозная система новых автомобилей при экстренном торможении груженого автомобиля на асфальтобетонной дороге должна обеспечивать определенное значение установившегося замедления [2]. Например, для автомобилей семейства МАЗ $j_{уст} = 5 \text{ м/с}^2$, а по зарубежным стандартам $j_{уст} = 6 \text{ м/с}^2$. Для автотранспортных средств, находящихся в эксплуатации, допускается снижение тормозных свойств соответственно на 10 ... 25% по отношению к новым автотранспортным средствам [3].

Для автомобилей МАЗ находящихся в эксплуатации, предельное значение $j_{пр} = 4 \text{ м/с}^2$. Этому параметру соответствует предельное значение общего удельного тормозного усилия, развиваемого в тормозном механизме, равное 0,41, т.к.

$$\gamma_T = \frac{j_{пр}}{g} = 0,4, \quad (2)$$

где g – ускорение силы тяжести.

Зная этот параметр, а также распределение веса автомобиля по осям [5], можно определить предельное значение усилий в тормозном механизме колеса:

$$F_{тпр} = \frac{j_{пр}}{g} \cdot \frac{Q}{2}, \quad (3)$$

Значение Q для условий статики, когда автомобиль стоит неподвижно или испытывается на роликовом стенде и для условий динамики – различны [4]. В реальных условиях эксплуатации, в динамике, при торможении автомобиля происходит перераспределение нагрузок на переднюю и заднюю оси автомобиля [7]. При этом возникают силы инерции, которые, действуя на плече от центра тяжести автомобиля до дороги, увеличивают нагрузку на переднюю ось, и, наоборот, уменьшают нагрузку на заднюю ось автомобиля.

Значения нормальных реакций на переднюю Z_1 и заднюю Z_2 оси автомобиля во время торможения существенно отличаются от значений нагрузки Q_1 и Q_2 в статическом состоянии автомобиля.

По литературным данным в процессе торможения автомобиля на ровной дороге нагрузка на переднюю ось Q_1 возрастает в 1,5...2 раза, а на заднюю Q_2 уменьшается на 30...50%.

Значения нормальных реакций Z_1 и Z_2 зависят от распределения веса автомобиля по осям в статике и коэффициентов изменения реакций в динамике для передней m_1 и задней m_2 осей. Эти коэффициенты определяются

конструктивными параметрами автомобиля – зависят от координат центра тяжести, т.е. от плеча центра тяжести $h_{ц}$, расстояние от центра тяжести до передней «а» и задней «b» осей и коэффициента сцепления [10].

$$Z_1 = m_1 \cdot Q_1 = \left(1 + \frac{\varphi \cdot h_{ц}}{b}\right) \cdot Q_1, \quad (4)$$

$$Z_2 = m_2 \cdot Q_2 = \left(1 - \frac{\varphi \cdot h_{ц}}{a}\right) \cdot Q_2, \quad (5)$$

Так как $\gamma_m = \frac{j_{np}}{q} \rightarrow \varphi$, то (6)

$$Z_1 = \left(1 + \frac{j_{np} \cdot h_{ц}}{q \cdot b}\right) \cdot Q_1, \quad (7)$$

$$Z_2 = \left(1 - \frac{j_{np} \cdot h_{ц}}{q \cdot a}\right) \cdot Q_2, \quad (8)$$

Тогда предельные значения усилий, развиваемых в тормозных механизмах колес и обеспечивающих тормозные свойства [7, 9] автомобиля при экстренном торможении в дороге, будут иметь вид:

Для переднего колеса: $F_{mnp} = \frac{j_{np}}{q} \cdot \frac{Q}{2},$ (9)

Для заднего колеса: $F_{m2np} = \frac{j_{np} \cdot Q_2}{2q} \cdot \left(1 - \frac{j_{np} \cdot h_{ц}}{q \cdot a}\right),$ (10)

И в целом для всего автомобиля – по всем колесам: $\sum F_{mnp} = \frac{j_{np}}{q} \left[\left(1 + \frac{j_{np} \cdot h_{ц}}{q \cdot b}\right) \cdot Q_1 + \left(1 - \frac{j_{np} \cdot h_{ц}}{q \cdot a}\right) \cdot Q_2 \right]$ (11)

Расчеты показывают, что для обеспечения установившегося замедления 4 м/с^2 и тормозного пути 23 м при начальной скорости торможения 40 км/ч груженого автомобиля на ровной дороге с цементно- или асфальтобетонным покрытием, автомобили МАЗ, находящиеся в эксплуатации, должны обеспечивать предельные значения $F_{m1np} = 15,7 \text{ кН}$, $F_{m2np} = 15,1 \text{ кН}$ и $\sum F_{mnp} = 61,7 \text{ кН}$. Эти параметры груженого автомобиля существенно отличаются от порожнего автомобиля [11]. У груженого автомобиля в сравнении с порожним F_{m1np} , F_{m2np} и $\sum F_{mnp}$ больше соответственно на 14%, в 2,3 раза и на 52%. Особенно большая разница имеет место по задним колесам.

Из этих данных следует, что по результатам дорожных испытаний порожнего автомобиля не представляется возможным правильно оценить техническое состояние тормозной системы и гарантировать ее надежную работу в случаях груженого автомобиля с полной массой [9]. В эксплуатации

могут иметь место случаи, когда порожний автомобиль, обеспечивающий в соответствии с требованиями ГОСТ $S_m = 18,4$ м и $j_{np} = 5,7$ м/с² не обеспечит требуемых тормозных свойств груженом состоянии. Значение $\sum F_{mnp}$, рассчитанное по формулам (11) для условий статики и динамики практически одинаковы, но F_{m1np} и F_{m2np} существенно отличаются. У груженого автомобиля при экстренном торможении F_{m1np} в 1,5 раза больше, чем в статике, а F_{m2np} в 1,3 раза меньше. В связи с этим предельные значения диагностических параметров F_{m1np} и F_{m2np} предлагается определить исходя из экстремальных условий работы автомобиля [13]. Для передней оси экстремум имеет место при экстренном торможении груженого автомобиля на дороге, а для задней – в условиях близких к статике [5]. Поэтому предельные значения усилия, развиваемого в тормозном механизме переднего колеса предлагается определять по формуле (9), а для заднего по формуле (10). Тогда применительно к автомобилю МАЗ $F_{m1np} = 15,7$ кН, $F_{m2np} = 20,1$ кН и $\sum F_{mnp} = 71,6$ кН. Эти предельные значения при номинальном давлении воздуха в пневмосистеме обеспечат тормозные свойства в соответствии с требованиями ГОСТ 25478-82 при скорости 40 км/ч и при самой минимальной скорости автомобиля, когда F_{np} приближается к значению 20,0 кН в статике, т.к. при снижении начальной скорости торможения влияние сил инерции на перераспределение нагрузки между осями снижается [3].

Зная предельные значения усилий в тормозных механизмах и реализуемые на роликовых стендах максимальные тормозные силы из уравнения (5.6) применительно к передним или задним колесам можно определить пониженное давление воздуха в пневмосистеме, при которых целесообразно диагностировать тормозную систему [6].

$$P_{\partial} = \frac{F_{k \max}}{F_{mnp}} (P_n - 0,4) + 0,4, \quad (12)$$

Расчеты показывают, что при минимально допустимом давлении воздуха в пневмосистеме 66,6 Н и коэффициентах сцепления колеса с беговым роликом стенда 0,55 и 0,58 проверку технического состояния тормозов передних колес необходимо осуществлять при экспериментальных давлениях, соответственно 42,1 и 44,1 Н, а задних колес при давлении 33,3 и 35,3 Н. Поддержание пониженного давления в узких пределах в принципе возможно путем стравливания воздуха при нажатии на педаль тормоза [9]. Однако, этот способ может вызвать определенные трудности у оператора-диагноста [10]. Учитывая это обстоятельство, представляется целесообразным расширить диапазон

пониженного давления для передних колес от 34,3 до 44,1 Н и задних от 24,5 до 35,3 Н. Предельные значения тормозных усилий [14] в диапазоне этих давлений можно определить по уравнению:

$$F_{mnp1} = \frac{F_{mnp}(P_э - 0,4)}{P_n - 0,4}, \quad (13)$$

Задаваясь различными значениями $P_э$ в указанных диапазонах давлений можно составить таблицу или номограмму функций $F_{mnp1} = f(P)$, по которым оператор-диагност может оценивать предельные значения максимальных тормозных усилий [9]. При этом снизится трудоемкость обеспечения необходимого экспериментального давления [12]. Для передних колес автомобиля МАЗ при пониженном давлении воздуха в пневмосистеме 34,4 Н до 44,1 Н, предельные значения тормозных сил находятся в пределах 7,6 ... 10,0 кН, а для задних колес при $P_э = 24,5 \dots 35,3$ Н $F_{кпр} = 6,6 \dots 10,0$ кН.

Заключение

Осуществляется проверка надежности тормозного механизма по максимально развиваемому усилию в тормозном механизме при пониженном давлении воздуха в пневмосистеме и экстренном торможении. Если тормозной механизм развивает предельное значение тормозного усилия при пониженном давлении воздуха в пневмосистеме, то он считается исправным, а если усилие ниже предельного, то автомобиль направляется в ремонт.

Библиографический список

1. Алексеева С.В. Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин / Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Пендриков Е.С., Баринаева П.А., Кривоногова А.С. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 227-232.
2. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
3. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
4. Кривоногова А.С. Соппротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
5. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
6. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном

комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.

7. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
8. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
9. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
10. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
11. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
12. Dobretsov R.Y. Power distribution mechanism for the transmission of forest tracked and wheeled vehicles / Dobretsov R.Y., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., PushkovYu.L., Andronov A.V. // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42046.
13. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / RemshevE.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
14. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., PushkovYu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5633-1797
e-mail pushkov_yura@mail.ru

ФИО Чураков А.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9526-9599
e-mail mex_kn2011@mail.ru

ФИО Торощин П.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код нет
e-mail bukafeed98@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрены основные принципы расчета тормозных показателей машины и предложена методика оценки технического состояния тормозной системы грузового автомобиля с пневматическим приводом.

Ключевые слова: тормозной механизм, надежности тормозного механизма, максимальные тормозные усилия, давление воздуха.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Перспективные направления развития методов диагностирования систем и механизмов двигателей внутреннего сгорания

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Вишнев Д.В.

Введение.

Основная задача диагностирования в процессе технического обслуживания – определение технического состояния объекта и прогнозирование его дальнейших изменений. Это позволяет управлять техническим состоянием машин [7]. Техническое состояние машин изменяется случайно и зависит от различных эксплуатационных факторов (почвенно-климатических условий, видов выполняемой работы, интенсивности нагрузки, квалификации механизаторов, качества обслуживания и др.) [9].

Они по-разному влияют на интенсивность изнашивания деталей машин, в связи с чем для каждой конкретной машины требуются ремонтно-обслуживающие воздействия разных объемов [7].

Применение для этих целей метода радиоактивных изотопов, метода нейтронной активизации в эксплуатационных условиях сложно и дорого. Они используются для исследования износа сочленений в лабораторных условиях [8].

Для эксплуатационного контроля процесса изнашивания сочленений находит применение спектрографический метод. Этим методом по анализу картерного масла определяют момент возрастания износа сочленения выше допустимых значений. Таким образом, устанавливается необходимость осмотра или ремонта двигателей. Метод признан перспективным. Однако для осуществления диагностирования по этому методу требуется дорогостоящее оборудование и метод оправдан только для двигателей большой стоимости [11].

Одним из перспективных является виброакустический метод диагностирования сопряжений двигателя. Исследование вибраций, формируемых механизмами двигателей при разной степени их износа, показывает связь между параметрами вибрации и зазорами в сопряжениях и механизмах двигателя. В настоящее время для технического диагностирования подшипников широко применяется прослушивание двигателя во время его работы. Однако характерные стуки, появляющиеся в результате износа подшипников, отчетливо прослушиваются в определенных зонах двигателя, если зазоры превышают предельно допустимые. Таким образом, оценка износа в значительной степени зависит от особенностей оператора. Разработанные для этих целей электронные приборы не исключают полностью отмеченный недостаток [6].

Для развития виброакустического метода необходимо проводить теоретические и экспериментальные исследования процессов возникновения вибраций в различных сопряжениях двигателя и выявить связь между параметрами вибрации износом сопряжений. В настоящее время проводятся исследования виброакустических процессов и на основе исследований разрабатываются приборы виброакустического контроля автомобильных и тракторных двигателей [2].

Динамика двигателя и формирование вибраций в зоне цилиндров

При работе и прокручивании двигателя происходит перекидка поршня в зазоре с одной стороны гильзы на другую с высокой скоростью. Наиболее интенсивный удар при перекидке поршня наблюдается вблизи ВМТ, т.к. нормальная боковая сила здесь имеет наибольшее значение [3]. Удар в этом

случае направлен в сторону, противоположную вращению коленчатого вала. Сила, действующая на поршень по оси цилиндра, будет равна:

$$P_{rj} = P_r \pm P_j \quad (1)$$

где P_r – сила от давления газов в цилиндре; P_j – сила инерции от поступательно движущихся масс.

Силами трения между поршнем и гильзой и их массой пренебрегаем. Боковая сила с учетом трения поршня [4] о кольцо, под действием которой поршень перекадывается в зазоре, определяется выражением

$$N = P_{rj} \cdot \operatorname{tg} \beta - P_{т.к.} \quad (2)$$

где β – угол наклона шатуна по отношению к оси цилиндра в процессе перекадки поршня; $P_{т.к.}$ – сила трения между поршнем и кольцами, оказывающая сопротивление при поперечном перемещении поршня в зазоре.

В свою очередь

$$P_{т.к.} = (P_2 + P'_2 + P''_2) \cdot F_k \cdot \mu \quad (3)$$

где P_2 ; P'_2 ; P''_2 – давление газов [5] в поршневых канавках, соответственно, первого, второго и третьего кольца; F_k – радиальная площадь кольца; μ – коэффициент трения.

При вращении коленчатого вала двигателя силы инерции в кривошипно-шатунном механизме несколько раз за цикл изменяют знак, и кольцо перемещается от одной стороны канавки к другой. Рассмотрим формирование ударного импульса в момент перекадки поршня в зазоре, обуславливающего вибрацию гильзы цилиндра и блока. Мощность вибраций в районе удара поршня определяется интенсивностью [1], характеризующейся импульсом сил P_2 . Импульс боковой силы при ударе поршня о стенку гильзы может быть представлен в виде:

$$R_{rj} = S_t^{t+\tau} \cdot P \cdot d \cdot t = m \cdot V_n \cdot (1+k) \quad (4)$$

где m – масса поршня и части шатуна; $m \cdot V_n$ – количество движения от удара; $k = \frac{V_k}{V_2}$ – коэффициент восстановления; V_k , V_2 – скорости движения до и после удара.

С учетом сил трения поршня о кольцо уравнение удара примет вид:

$$R = S_t^{t+\tau} \cdot P \cdot d \cdot t - S_t^{t+\tau} \cdot P_{т.к.} \cdot d \cdot t = m \cdot V_n (1+k) - P_{т.к.} \cdot t_n, \quad (5)$$

где t_n – время перекадок поршня в зазоре при его поперечном движении.

Так как перекадка поршня в зазоре осуществляется в интервале $12 \dots 20^\circ$ поворота коленчатого вала (от ВМТ до момента удара), можно принять скорость нарастания силы постоянной от времени, т.е.

$$\frac{dN}{dt} = N = \text{const} \quad (6)$$

Дифференциальное уравнение поперечного движения поршня можно записать в виде:

$$S''m = \frac{d^2S}{dt^2} \cdot m = N \cdot t, \quad (8)$$

где S – зазор между поршнем и гильзой цилиндра.

Интегрируем это выражение, подставляем начальные условия при $t=0$, $S=0$, $S'=0$ получим:

$$m \cdot S' = \frac{N' t_n^2}{2}. \quad (9)$$

Откуда
$$S = \frac{N' t_n^3}{6m}.$$

Так как
$$S'' = \frac{dV}{dt}, \text{ то } \frac{dV}{dt} = \frac{d^2S}{dt^2}. \quad (10)$$

Для $V_0 = 0$ (в ВМТ) из этой формулы получим выражение для скорости в момент удара

$$V_n = \frac{N' t_n^2}{2m} \quad (11)$$

Дальнейшее интегрирование дает выражение пути:

$$S = \int_{t_0}^t V dt = \frac{N' t_n^3}{6m} \quad (12)$$

Из этого выражения время перекадки поршня в зазоре:

$$t_n = \sqrt[3]{\frac{6mS}{N'}} \quad (13)$$

Принимая $\text{tg } \beta = \sin \beta = \lambda_k \cdot \sin \phi$, получим:

$$N_{rj} = P_{rj} \lambda_k \sin \phi \quad (14)$$

Дифференцируя это выражение, получим:

$$N'_{rj} = \frac{dN_{rj}}{dt} = \omega P_{rj} \lambda_k \cos \phi. \quad (15)$$

При перекадке поршня в зоне ВМТ $\phi_n = 12...20^\circ$ и $\cos \phi = 0,98$.

Подставляя в выражение t_n значение N_{rj} получим:

$$t_n = 2,15 \cdot \sqrt[3]{\frac{6Sm}{\omega P_{rj} \lambda_k \cos \phi_2}} = 8,3 \cdot \sqrt[3]{\frac{3m}{\omega \lambda_k P_{rj}}}. \quad (16)$$

Подставляя значение t_n в формулу для S , получим уравнение поперечной скорости поршня в момент удара:

$$V_n = 0,76 \cdot \sqrt[3]{\frac{0,98S\omega P_{rj}\lambda_k}{m}} = 0,36 \cdot \sqrt[3]{\frac{S^2 m P_{rj} \lambda_k}{m}}. \quad (17)$$

Если в выражение импульса боковой силы при ударе подставить значение V_n , то зависимость для момента удара без учета сил трения поршня о кольцо при перекладке будет:

$$R_{Гj} = 3,6 \cdot (1+k) \cdot \sqrt[3]{S^2 n m^2 P_{Гj} \lambda_k} \quad (18)$$

а с учетом сил трения

$$R = 3,6 \cdot (1+k) \cdot \sqrt[3]{S^2 n m^2 P_{Гj} \lambda_k} - 1,8 \cdot P_{т.к.} \cdot \sqrt[3]{\frac{Sm}{n \lambda_k P_{Гj}}} \quad (19)$$

Для одного типоразмера двигателя определенного установившегося режима работы уравнение $R_{Гj}$ будет иметь вид:

$$R = A \cdot S^{2/3} \quad (20)$$

Из уравнений видно, что при определенном режиме работы на различных стадиях износа двигателя поперечная скорость поршня V_n и интенсивность удара R будут меняться в зависимости от зазора S .

Рассмотренный анализ формирования одиночного ударного импульса предполагает перекладку поршня при параллельном положении образующей [10]. В двигателях автотракторного типа центр тяжести поршня и поперечная равнодействующая сила трения поршневых колец расположены выше оси колец, что обуславливает вращательное движение поршня при перекладке [12]. В этом случае под действием боковой сил N с учетом поперечной силы трения перекладка поршня происходит в двух фазах и с двумя ударами [13]. В первой фазе поршень ударяется о гильзу нижней части юбки. Во второй фазе поршень вращается относительно опоры нижней части юбки, при этом происходит второй удар. Расчетно-теоретический анализ показывает, что вторая фаза перекладки поршня после ВМТ на такие расширения сопровождается более мощным ударом [8].

Анализ вибраций, вызванных ударами в поршневой группе, показывает, что их энергия примерно равна кинетической энергии в момент удара [14]. Мощность (энергия, усредненная по времени) этих вибраций, формируемых ударами поршней всех цилиндров, может быть выражена уравнение:

$$\sigma(\omega)_T = (Zm \frac{n}{j}) \sum_{цикл} V_n^2 \phi_0 \quad (21)$$

где j – число ударов за цикл.

Принимая импульс, вызванный перекладкой поршня вблизи ВМТ, за информативный и выделяя этот импульс для одного цилиндра, определим мощность вибраций, подставив в уравнение значение поперечной скорости поршня:

$$nm \cdot \sqrt{\frac{S^4 n^2 P_{Гj}^2 \lambda_k}{m}} \cdot \sigma(\omega)_T = 2,8 \cdot \quad (22)$$

Для одного типоразмера двигателя и определенного установившегося режима можно записать

$$\sigma(\omega)_T = BS^{4/3} \quad (22)$$

Заключение

Теоретический анализ показывает, что при работе или прокручивании двигателя внутреннего сгорания с увеличением зазора S увеличивается энергия вибрации, формируемой перекладкой поршня, при этом изменяются и временные параметры импульсов [8]. Выделяя информативные параметры по времени и частоте и измеряя их энергию, максимальную амплитуду, фазовые значения [15], можно определить величину зазора между поршнем и гильзой цилиндра и другие структурные параметры, характеризующие состояние цилиндро-поршневой группы двигателя [9].

Библиографический список

1. Алексеева С.В. Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин / Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Пендриков Е.С., Баринаева П.А., Кривоногова А.С. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 227-232.
2. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
3. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
4. Кривоногова А.С. Сопротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
5. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
6. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
7. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
8. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.

9. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
10. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
11. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
12. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
13. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
14. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.
15. Shifrin, B.M. Development of a Feed Mechanism Control Model for KARA Master Circular Saw Based on SWITCH Technology / Shifrin, B.M., Yeliseev, I.V., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S., Pushkov, Y.L. // 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies, FarEast 2020 – Vladivostok, Russia, 2020 – p. 9271629.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797

e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Вишнев Д.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет
e-mail	mr.davinson18@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрен один из методов безразборной диагностики механизмов и систем двигателя, позволяющие достаточно надежно оценить величину зазоров сопряжений, состояние механизмов и прогнозировать сроки возможной эксплуатации до ремонта.

Ключевые слова: информативные параметры, безразборная диагностика, виброакустический метод, зазор, поршень.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Применение двигателей постоянной мощности на трелевочных тракторах и их влияние на тяговые показатели

**Спиридонов С.В., Кривоногова А.С.,
Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Романов С.В.**

Введение.

Совершенствование моторно-трансмиссионных частей лесных машин является одной из основополагающих задач в машиностроении [9]. Моторно-трансмиссионные установки должны иметь хорошее согласование параметров двигателя и трансмиссии, обеспечивать широкий диапазон тяговых усилий и их бесступенчатое изменение [2].

Общей тенденцией совершенствования моторно-трансмиссионных частей является получение оптимальных зависимостей крутящего момента на ведущих органах машины от частоты их вращения [13], приближающихся в идеале к соотношению $M_k \times n_k = const$. Здесь M_k – крутящий момент на ведущем колесе или звездочке, n_k – частота вращения ведущего колеса или звездочки. Такая зависимость достигается применением двигателей внутреннего сгорания и специальных трансмиссий – гидрообъемных, гидромеханических, электрических и других [15]. Однако при этом возрастает сложность и стоимость силовых передач, и увеличиваются потери, связанные с трафиком энергии от двигателя к ведущим органам [14]. В результате, существующие конструктивные решения моторно-трансмиссионных частей на основе традиционных двигателей и известных схем силовых передач не обеспечивают в полной мере реализацию требований к тягово-скоростным и экономическим качествам трелевочных тракторов. Одним из путей достижения этой цели является увеличение запаса крутящего момента тракторных двигателей с сохранением постоянной мощности на корректорном участке скоростной характеристики двигателя. Такие характеристики имеют двигатели постоянной мощности (ДПМ), которые находят все большее применение на тракторах различного назначения [3].

Прогрессивность этих силовых установок заключается в обеспечении ими широкого диапазона бесступенчатого и автоматического изменения касательной силы тяги и скорости движения машины, при этом ДПМ сравнимы по своим свойствам с сочетанием обычного двигателя и гидротрансформатора [13]. Они способствуют уменьшению числа передач в трансмиссии, что упрощает силовую передачу и облегчает управление трактором, а постоянство вырабатываемой мощности в широком диапазоне изменения частоты вращения коленчатого вала повышает степень использования мощности двигателя. Одновременно снижается расход топлива на единицу работы, выполняемой машиной вследствие использования в основном корректорного участка характеристики, соответствующего пониженным удельным расходам топлива, а также улучшаются динамические качества машины [2, 6].

В отличие от обычных дизелей, рабочие режимы которых приходится в основном на регуляторный участок скоростной характеристики, ДПМ работают главным образом на корректорном участке [12]. В соответствии с этим движение трактора с ДПМ может осуществляться в большинстве случаев на более высоких передачах [5].

Разработка двигателей постоянной мощности осуществляется на базе серийных дизелей с турбонаддувом путем настройки систем подачи воздуха и топлива таким образом, чтобы при уменьшении в заданном диапазоне частоты

вращения коленчатого вала двигателя относительно номинальной, крутящий момент возрастал по гиперболической зависимости [8]. Для транспортных двигателей высокое значение крутящего момента должно быть сохранено по крайней мере до частоты вращения, соответствующей половине номинальной частоты вращения n_n , а двигатель с идеальной скоростной характеристикой должен иметь максимум крутящего момента на меньших частотах вращения [4]. Последнее условие выполнить весьма трудно.

Обычные дизели имеют коэффициент приспособляемости:

$$K_{пр} = \frac{M_{\max}}{M_n} = 1,05 \dots 1,15; \quad (1)$$

где M_{\max} – максимальный крутящий момент двигателя, Н·м; M_n – крутящий момент при частоте вращения, соответствующей номинальной мощности двигателя, Н·м.

Для двигателя постоянной мощности можно получить коэффициент приспособляемости 1,3...1,45 и выше [9].

Повышение $K_{пр}$ ДПМ достигается увеличением цикловой подачи топлива при уменьшении частоты вращения и обеспечением с помощью наддува на этих режимах необходимого количества воздуха. В этом случае двигатель форсируется на низких частотах вращения, номинальная мощность остается без изменения, массово-габаритные показатели двигателя не ухудшаются [10, 12].

К настоящему времени накоплен большой опыт применения ДПМ на грузовых автомобилях с мощностью 250 кВт и более, позволяющий сделать следующие выводы:

- автомобили с ДПМ имеют более низкий расход топлива и больший ресурс двигателя из-за более низкой средней частоты вращения коленчатого вала;
- ресурс серийных ДПМ весьма велик и достигает 500 тыс. км и более;
- машины с ДПМ имеют более легкое управление и меньшую шумность работы.

В использования ДПМ на автомобилях имеется два направления.

1. Применение двигателей с целью упрощения трансмиссии и увеличения производительности и топливной экономичности в условиях переменных нагрузок. В этом случае идут по пути использования всей корректорной ветви характеристики двигателя [7].
2. Применение ДПМ для получения максимальной топливной экономичности. При этом используется область корректорного участка скоростной характеристики, соответствующая минимальным значениям эффективного удельного расхода топлива, для чего на машинах применяются трансмиссии с большим числом ступеней изменения общего передаточного числа. Это позволяет практически в любых условиях

движения обеспечивать наиболее экономичный режим работы двигателя при высокой производительности транспортной работы машины [8].

Эти положения, связанные с применением ДПМ на автомобилях, актуальны и для трелевочных тракторов, однако должна быть учтена специфика их работы. В отличие от автомобилей, движение которых осуществляется по дорогам с твердым покрытием при относительной стабильности нагрузки на двигатель, трелевочные тракторы работают в условиях сильно меняющихся нагрузок на двигатель, колеблющихся от полной нагрузки при работе на корректорном участке характеристики до холостого хода при работе на регуляторной ветви [5]. В этих условиях реализация положительных свойств ДПМ существенно зависит от выбора параметров двигателя и трансмиссии – мощности, величины запаса крутящего момента, значений передаточных чисел трансмиссии [7].

Положительный эффект применения ДПМ на тракторах определяется полнотой использования корректорного участка его характеристики. В наибольшей степени преимущества ДПМ проявляются при нагрузках, постоянно приходящихся на корректорный участок характеристики, что обеспечивается выбором оптимального ряда передаточных чисел трансмиссии. В этом случае расширяется диапазон используемых тяговых усилий на каждой передаче [11].

Передаточные числа механической трансмиссии распределяют по ступеням по закону геометрической или арифметической прогрессии, по гармоническому или рациональному ряду [10]. Для гусеничных тракторов передаточное число низшей ступени коробки передач выбирается для режима работы двигателя, соответствующего номинальному крутящему моменту и номинальной частоте вращения коленчатого вала, а момент переключения с высшей ступени на низшую, рассчитывается для режимной точки, соответствующей максимуму крутящего момента [4, 9]. При использовании двигателя с повышенным коэффициентом приспособляемости необходимо решить вопрос о том, какой должна быть расчетная загрузка двигателя по моменту при переключении передач с высшей на низшую. Это связано с тем, что работа ДПМ предполагается в основном на корректорном участке характеристики, поскольку высокие значения коэффициента приспособляемости позволяют полностью загрузить его по мощности при значительных колебаниях сопротивления движению [10]. Следовательно, номинальный крутящий момент двигателя, в этом случае, не может быть выбран в качестве расчетного. Вместе с тем при движении трактора нагрузка на двигатель, определяющая его рабочие режимы в эксплуатации, меняется в широкий предел вследствие изменения как текущих сил сопротивления

движению, так и скорости движения [7]. Для устойчивой работы трактора с ДПМ на каждой передаче при колебательном характере нагрузки необходимо иметь резерв по крутящему моменту двигателя, который должен обеспечивать преодоление как случайного кратковременного возрастания нагрузки, так и колебания периодических составляющих сил сопротивления [4].

Неудачный выбор величины резервирования крутящего момента может привести к негативным последствиям. Малый резерв потребует неоправданно частого переключения передач на некоторых режимах работы, следовательно остановки трактора и снижения производительности [11]. Кроме того, переход на более низкую передачу приводит к недоиспользованию мощности двигателя, поскольку последний начинает работать на регуляторной ветви характеристики [3].

Чрезмерный резерв крутящего момента требует большего числа ступеней в коробке передач в пределах одного и того же диапазона изменения силы тяги, что приведет к усложнению трансмиссии.

Определение необходимой величины запаса крутящего момента может быть выполнено на основании анализа вариации сил сопротивления движению в различных условиях работы трелевочного трактора [2, 5].

Характерное для тракторов с ДПМ уменьшение количества передач в трансмиссии способствует снижению частоты их переключения, следовательно уменьшается влияние тракториста на производственные показатели [1]. Однако уменьшение числа передач предъявляет повышенные требования к выбору ряда передаточных чисел и их согласованию с конкретными условиями работы машины [2, 6].

Особенности протекания кривой крутящего момента у ДПМ способствуют смягчению динамических процессов при переменном характере действующих на трактор нагрузок. Это обусловлено тем, что корректорный участок этой кривой у ДПМ имеет меньшую крутизну $\Delta M / \Delta n$ по сравнению с регуляторной ветвью, на которой в основном работают обычные двигатели. Здесь ΔM – элементарное изменение крутящего момента двигателя, Н·м; Δn – соответствующее ему изменение частоты вращения коленчатого вала, мин⁻¹.

В одинаковых условиях трактор с ДПМ на корректорном участке характеристики способен работать на более высокой передаче, чем с обычным дизелем [9]. Показатели жесткости характеристики крутящего момента на ведущих органах трактора и на коленчатом валу двигателя связаны соотношением:

$$\frac{\Delta M_{\text{к}}}{\Delta n_{\text{к}}} = \frac{\Delta M}{\Delta n} \times i_{\text{тр}}^2; \quad (2)$$

где ΔM_k и Δn_k соответственно элементарные изменения крутящего момента на ведущих органах и частоты их вращения; $i_{тр}$ – общее передаточное число трансмиссии на включенной передаче.

У трактора с ДПМ жесткость изменения крутящего момента на ведущих органах имеет меньшие значения. Кроме того, из-за меньшего передаточного числа трансмиссии уменьшается динамичность воздействия инерционных сил двигателя на ведущие органы машины, так как величина этого воздействия пропорциональна квадрату передаточного числа трансмиссии. Это способствует снижению уровня динамичности взаимодействия ведущих органов машины с опорной поверхностью, что в свою очередь повышает проходимость машины [10].

Для тракторов с механической трансмиссией тяговые качества в значительной степени определяются диапазоном передаточных чисел трансмиссии и интервалами между передачами. Текущее значение условного тягового КПД трактора $\eta_{ту}$ можно представить выражением:

$$\eta_{ту} = K_m \times K_n \times \eta_T; \quad (3)$$

где K_m – текущее значение корректорного коэффициента запаса крутящего момента; K_n – текущее значение коэффициента снижения частоты вращения коленчатого вала двигателя; η_T – тяговый КПД трактора.

$$K_m = \frac{M}{M_H}; \quad (4)$$

$$K_n = \frac{n}{n_H}; \quad (5)$$

где M – текущее значение крутящего момента двигателя; n – текущее значение частоты вращения коленчатого вала; n_H – номинальная частота вращения коленчатого вала.

Тяговый КПД трактора может быть выражен зависимостью:

$$\eta_T = \eta_{тр} \times \eta_b \times \eta_f = \eta_{тр} \times (1 - \delta) \times \left(1 - \frac{P_f}{P_k}\right); \quad (6)$$

где $\eta_{тр}$ – КПД трансмиссии; η_b – коэффициент, учитывающий затраты мощности на буксование; η_f – коэффициент, учитывающий затраты мощности на передвижение трактора; δ – коэффициент буксования; P_f – сила сопротивления движению; P_k – касательная сила тяги.

Произведение $K_m \times K_n$ для всех режимов работы двигателя, кроме номинального, меньше единицы. При этом чем больше интервал между передачами в трансмиссии, тем больше снижение $\eta_{ту}$ на стыке передач. Вместе с тем, для большинства передач максимальные значения $\eta_{ту}$ не соответствуют режиму максимальной мощности двигателя, что обусловлено различным

характером изменения переменных в выражениях для условного тягового КПД трактора и тягового КПД в зависимости от тяговой нагрузки [6].

Для трактора с ДПМ, учитывая работу двигателя на корректорном участке характеристики в зоне постоянной мощности, условный тяговый КПД и тяговый КПД идентичны, так как $K_m \times K_n = 1$. Вследствие этого текущие значения условного тягового КПД у тракторов с ДПМ почти всегда выше, чем у тракторов с обычным двигателем [8].

Более высокие тяговые показатели, непрерывность и автоматичность регулирования тягового усилия в широком диапазоне должны оказать влияние на переходные режимы движения тракторов с ДПМ. При прочих равных условиях отношение ускорений при движении трактора с ДПМ и обычным дизелем можно представить зависимостью:

$$\frac{\frac{dV^{\text{ДПМ}}}{dt}}{\frac{dV}{dt}} = \frac{\frac{M^{\text{ДПМ}}}{M_c} \times K_{\text{пр}}^{\text{ДПМ}} - 1}{\frac{M}{M_c} \times K_{\text{пр}} - 1}; \quad (7)$$

где $\frac{dV^{\text{ДПМ}}}{dt}$; $M^{\text{ДПМ}}$; $K_{\text{пр}}^{\text{ДПМ}}$ – соответственно ускорение, текущее значение крутящего момента и коэффициент запаса крутящего момента для трактора с ДПМ; M_c – момент сопротивления движению трактора, приведенный к коленчатому валу двигателя; V ; M ; $K_{\text{пр}}$ – соответственно ускорение, текущее значение крутящего момента и коэффициент запаса крутящего момента для трактора с обычным двигателем.

Из этого выражения следует, что чем больше коэффициент запаса крутящего момента у ДПМ и сопротивление движению трактора, тем больше относительное ускорение трактора и меньше его относительное замедление в случае $M_c > M^{\text{ДПМ}}$.

Так, при значениях $K_{\text{пр}}^{\text{ДПМ}} = 1,4$ и $K_{\text{пр}} = 1,1$ и отношении: $M/M_c = M^{\text{ДПМ}}/M_c = 3$ максимальное ускорение трактора с ДПМ при разгоне больше на 39%, а при $M/M_c = M^{\text{ДПМ}}/M_c = 1$ больше в четыре раза по сравнению с трактором, снабженным обычным двигателем.

Следует отметить, что ДПМ, способствуя снижению динамичности работы трактора при колебательном характере его загрузки, увеличивает вместе с тем неравномерность его движения по сравнению с обычным двигателем, работающим преимущественно на регуляторной ветви характеристики, имеющей большую «жесткость» [8].

Заключение

1. Применение ДПМ обеспечивает широкий диапазон бесступенчатого и автоматического регулирования силы тяги и скорости движения трактора.

2. ДПП обеспечивает уменьшение числа передач в трансмиссии, что существенно упрощает конструкцию последней и облегчает управление трактором.
3. Применение ДПП повышает коэффициент использования мощности двигателя при одновременном снижении расхода топлива на единицу работы.
4. Применение ДПП снижает динамичность рабочего процесса трактора при переменном характере действующих на него нагрузок.
5. Реализация положительных свойств ДПП зависит от выбора параметров двигателя и трансмиссии, в первую очередь мощности, величины запаса крутящего момента, передаточных чисел трансмиссии.

Библиографический список

1. Алексеева С.В. Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин / Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Пендриков Е.С., Баринаева П.А., Кривоногова А.С. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 227-232.
2. Кретинин В.И. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин / Кретинин В.И., Теппоев А.В., Кривоногова А.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 90 с. С. 38-41.
3. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
4. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
5. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
6. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
7. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005. – С. 101-115.
8. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
9. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание

ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.

10. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
11. Фам Н.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком / Фам Н.Л., Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.
12. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
13. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
14. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
15. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.

Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Романов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	semrom-2000@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены аспекты применения двигателя постоянной мощности на трелевочных тракторах с целью улучшения технико-экономических показателей лесной трелевочной машины.

Ключевые слова: двигатель постоянной мощности, технико-экономические показатели, крутящий момент двигателя.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Влияние показателей проходимости на выбор оценочных показателей

Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Гаипов Д.А.

Введение.

Совершенствование технического процесса неразрывно связано с повышением эффективности работы лесосечных машин. Характерными признаками такого технического прогресса являются повышение рейсовых нагрузок и скорости движения при одновременном увеличении долговечности,

надежности и снижении металлоемкости лесных машин [1]. Исследования российских и зарубежных ученых свидетельствуют о целесообразности применения специальных колесных лесотранспортных тракторов [2].

Сравнивая колесные трелевочные трактора с гусеничными, следует отметить основные преимущества тракторов с колесными движителями, такие как, скорость движения и меньшая металлоемкость. Однако, несмотря на то, что колесные движители появились значительно раньше гусеничных, основным показателем, сдерживающим бурное развитие лесопромышленных тракторов с колесными движителями, считался показатель проходимости. Но промышленность не стоит на месте: резкое развитие химии полимерных материалов и шинной промышленности привело к появлению принципиально новых крупногабаритных, высоко эластичных шин. [3].

Оснащенные такими шинами колесные трелевочные трактора по параметрам проходимости не значительно уступают гусеничным. Но и на этом не стоит останавливаться, необходимо продолжать поиски повышения проходимости колесных тракторов. Однако прежде чем приступить к данным исследованиям необходимо определиться по каким критериям мы собираемся оценивать параметры проходимости [8].

Классически все показатели проходимости подразделяются на две основные группы: геометрическая и тягово-опорная проходимости [5].

К геометрическим показателям проходимости относятся: дорожный просвет, радиусы продольной и поперечной проходимости, углы въезда трактора, а также радиус горизонтальной проходимости. Все эти показатели определяются конструктивными особенностями тракторов и могут быть измерены без особой сложности [9].

Тягово-опорная проходимость характеризуется надежным движением трактора по деформирующимся грунтам [11]. К показателям тягово-опорной проходимости относят: удельное давление на грунт, коэффициент сцепления, удельная мощность, распределение веса по осям колес и эффективность работы ходовой системы [10].

Но невозможно полно оценить параметры проходимости, основываясь лишь на данных, полученных при измерении показателей этих параметров. Для более полной оценки параметров проходимости необходимо наличие некоторых дополнительных критериев [12].

Один из подобных критериев [13] был предложен профессором Г.М. Анисимовым, и представляет собой относительный запас силы тяги по сцеплению с грунтом:

$$P_{сц} = \frac{\varphi \cdot k_{сц} - f}{\varphi \cdot k_{сц}} \quad (1)$$

где $P_{сц}$ – относительный запас силы тяги по сцеплению с грунтом; φ – коэффициент сцепления, f – коэффициент сопротивления качению; $k_{сц}$ – коэффициент сцепного веса.

Профессором Г.М. Анисимовым данному показателю было дано название комплексный показатель проходимости [9]. Несколько по-своему была решена данная профессором А.Н. Баранским. Он предложил оценивать параметры проходимости по показателю запаса проходимости:

$$P_3 = \frac{\varphi_{\max} \cdot G_{сц}}{f \cdot G + P_{кр}} \quad (2)$$

где P_3 – показатель запаса проходимости; φ_{\max} – максимальное значение коэффициента сцепления, $G_{сц}$ – величина сцепного веса; G – общая масса трактора; f – коэффициент сопротивления качению.

В свою очередь профессор В.Б. Баскин предложил оценивать показатель проходимость через коэффициент изменения скорости [14]:

$$\eta_v = \frac{v}{v_T} \quad (3)$$

где η_v – коэффициент изменения скорости; v_T – теоретическая скорость движения трактора; v – фактическая скорость движения трактора [7, 9].

Также была предложена идея оценки проходимости по потерям момента сцепления ведущих колес. Авторами этой идеи стали В.Н. Кнороз и Ю.Э. Шарикян.

$$P = \frac{M_\varphi - M_f}{M_\varphi} \quad (4)$$

где M_φ – максимальный момент по сцеплению ведущих колес при частичном буксовании; M_f – момент сопротивления движению.

И.В. Крагельский предложил проводить оценку проходимости по сцеплению:

$$P = \frac{F_c - F_n}{F_c} \quad (5)$$

где F_c – сила сопротивления перекачиванию; F_n – сила сцепления колес с дорогой.

Также проводить оценку проходимости по сцеплению предложил и Я.С. Агейкин. Но в отличие от И.В. Крагельского он предложил осуществлять данную оценку через тяговое усилие и вертикальную нагрузку:

$$P = \frac{P_{сц} - P_f}{Q} \quad (6)$$

где $P_{сц}$ – тяговое усилие по сцеплению, P_f – составляющая сопротивления качению от деформирующегося грунта, Q – вертикальная нагрузка.

В.А. Горбачевский, рассматривая в своей работе вопрос проходимости, предложил оценивать проходимость через отношение коэффициента сцепного веса и коэффициента сцепления к коэффициенту суммарного сопротивления движению [4, 8]:

$$\Pi = \frac{\nu \cdot \varphi}{\psi} \quad (7)$$

где ν – коэффициент сцепного веса; φ – коэффициент сцепления; ψ – коэффициент суммарного сопротивления движению.

Учитывая различия условий эксплуатации лесной техники, профессором В.Ф. Бабиковым была предложена оценка проходимости по деформирующимся грунтам:

$$\Pi = k \cdot \varphi - f \quad (8)$$

где k – коэффициент, учитывающий часть нагрузки на ведущие оси; φ – коэффициент сцепления; f – коэффициент сопротивления качению.

В.Н. Шитов предложил оценку проходимости по нарастанию деформации грунта:

$$\Pi_n = \frac{P}{q} \quad (9)$$

где P – предельная несущая способность грунта; q – давление колес трактора.

Однако, основным недостатком большинства данных критериев, в нашем случае, является то, что они при определении проходимости учитывают лишь коэффициент сопротивления тягача, пренебрегая силой сопротивления движению волочащейся части [6]. Учитывая тот факт, что данной работе мы рассматриваем параметры проходимости [11] трелевочного трактора [15], мы не можем позволить себе пренебречь данным фактором. В связи с этим, для дальнейших расчетов мы воспользуемся критерием В.Б. Баскина, для системы тягач – пакет, а также используем критерий В.А. Горбачевского, в котором коэффициент суммарного сопротивления движению определим через соотношение:

$$\psi = \nu \cdot \varphi_1 + (1 - \nu) \cdot \varphi_2 \quad (10)$$

где ν – коэффициент сцепного веса; φ – коэффициент сцепления; ψ – коэффициент суммарного сопротивления системы тягач – пакет; φ_1 – коэффициент сопротивления движения тягача; φ_2 – коэффициент сопротивления волочащейся части.

Заключение

При оценке показателей проходимости трелевочной системы необходимо учитывать все составляющие системы «трактор-пачка-волок», в том числе силой сопротивления движению волочащейся части [4, 9, 10].

Библиографический список

1. Кретинин В.И. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин / Кретинин В.И., Теппов А.В., Кривоногова А.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 90 с. С. 38-41.
2. Кретинин В.И. Характеристика отказов лесопосадочных машин / Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
3. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
4. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
5. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
6. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
7. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
8. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниязов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
9. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
10. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
11. Хитров Е.Г. О сопоставлении среднего и номинального давления движителя лесной машины на почвогрунт / Хитров Е.Г., Котенев Е.В., Андронов А.В., Ильюшенко Д.А., Пушков Ю.Л. //

Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 229. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.– С. 185-195.

12. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
13. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
14. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
15. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Гаипов Д.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код нет
e-mail donicgaipov@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрены основные критерии оценки проходимости лесных машин с учетом основных показателей сопротивления движению трелевочной системы.

Ключевые слова: критерии оценки, проходимость трелевочной системы, тягач-пачка, суммарное сопротивление движению машины.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Обоснование диагностических параметров тормозной системы автомобиля

Спиридонов С.В., Кривоногова А.С.,
Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Давыденко С.В.

Введение.

Для проверки технического состояния тормозной системы автомобилей предусмотрено два метода испытаний – дорожный и стендовый [2]. Дорожные испытания проводят на прямой, ровной, горизонтальной сухой дороге с цементно- или асфальто-бетонным покрытием при полной массе или в снаряженном состоянии, т.е. в груженом или порожнем состоянии. Оценка технического состояния рабочей тормозной системы при этом осуществляется по величине тормозного пути σ_m и установившемуся замедлению $j_{уст}$. Стендовые испытания проводят на стендах инерционного или силового типа в порожнем состоянии автомобиля [6]. Показателями эффективности рабочей тормозной системы являются значения общей удельной тормозной силы γ_m , коэффициента осевой неравномерности тормозных сил K_n и время срабатывания $\tau_{ср}$ [1].

У автомобилей, находящихся в эксплуатации, рабочая тормозная система считается исправной [9], если соблюдаются четыре условия:

– общая удельная тормозная сила, определяемая по формуле (1), составляет величину не менее 0,41;

$$\gamma_m = \frac{\sum F_{m \max}}{Q_a} \geq 0,41, \quad (1)$$

где $\sum F_{m \max}$ – сумма максимальных усилий, развиваемых тормозными механизмами на всех колесах автотранспортного средства, Н; Q_a – полная масса автотранспортного средства, Н;

- коэффициент осевой неравномерности тормозных сил [4], определяемый по формулам (2), (3) не превышает 0,13;

$$\text{при } F_{m \max}^{np} > F_{m \max}^{лев} \quad K_H = \frac{F_{m \max}^{np} - F_{m \max}^{лев}}{F_{m \max}^{np} + F_{m \max}^{лев}} \leq 0,13 \quad (2)$$

$$\text{при } F_{m \max}^{np} < F_{m \max}^{лев} \quad K_H = \frac{F_{m \max}^{лев} - F_{m \max}^{np}}{F_{m \max}^{np} + F_{m \max}^{лев}} \leq 0,13 \quad (3)$$

где $F_{m \max}^{np}$ и $F_{m \max}^{лев}$ – максимальные усилия, развиваемые колесными тормозными механизмами соответственно на правом и левом колесе каждой оси автомобиля, Н, [5];

- время срабатывания тормозной системы не превышает 1 с:

$$\tau_{cp} \leq 1 \text{ с}, \quad (4)$$

- при испытании автомобиля на стенде, давление сжатого воздуха в ресивере P_H соответствует установленному предприятием-изготовителем автомобиля, которое указано в инструкции по эксплуатации автомобиля [1, 3, 9].

Анализируя эти условия применительно к автомобилям типа колесной формулы 4X4 (типа МАЗ – 5434), следует отметить следующее:

Во-первых, при испытании исправного порожнего автомобиля на роликовых стендах реализовать максимальное усилие, развиваемое тормозным механизмом $F_{m \max}$, невозможно [12]. У этих автомобилей на стенде реализуется не максимальное усилие тормозного механизма, а максимальная тормозная сила $F_{k \max}$, возникающая между поверхностью шины колеса и беговым роликом стенда [7].

Максимальное усилие тормозного механизма зависит от силы сцепления фрикционной накладкой с поверхностью барабана колеса и определяется материалом и конструктивными параметрами фрикционной накладки, барабана, а также усилием прижатия накладки к барабану. Последнее зависит от величины давления в пневмосистеме и конструктивных параметров пневмокамеры [10, 13].

Максимальная тормозная сила, реализуемая на стенде, $F_{k \max}$ зависит от силы сцепления шины с беговым роликом и определяется нагрузкой на колесо [13], т.е. распределением веса автомобиля по осям G и коэффициентом сцепления шины с поверхностью ролика φ :

$$F_{k \max} = \varphi \cdot \frac{G}{2}, \quad (5)$$

При проектировании автомобиля расчет и доводка тормозной системы ведется исходя из условия обеспечения необходимых тормозных свойств автомобиля на дороге с полной нагрузкой при экстренном торможении [11]. На стенде автомобиль испытывается порожний и в статике, когда отсутствует перераспределение веса автомобиля по осям, имеющее место при экстренном торможении автомобиля на дороге [14]. У исправных автомобилей максимальные усилия, развиваемые в тормозном механизме, намного превышают максимальные тормозные силы, реализуемые на стенде, $F_{m \max} > F_{k \max}$.

У автомобилей МАЗ-5434 при давлении воздуха в пневмосистеме 62,7...71,5 Н максимальное усилие, развиваемое в тормозном механизме переднего колеса, находится в пределах 18,6 ... 22,7 кН, а заднего колеса – 27,7 ... 36,5 кН.

При испытании порожнего автомобиля на стенде с коэффициентом сцепления $\varphi = 0,55 \dots 0,58$ на переднем колесе реализуется максимальная тормозная сила в пределах 96,4 ... 10,2 кН, а на заднем 94,9 ... 10,0 кН. У исправных автомобилей на передних колесах $F_{m \max} > F_{k \max}$ в 1,9 ... 2,2 раза, а на задних колесах больше в 2,9 ... 3,6 раза. Значительный запас $F_{m \max}$ по отношению к $F_{k \max}$ обеспечивает длительную работу тормозного механизма без ремонта. У исправных автомобилей, имеющих пониженное давление в пневмосистеме, значительный износ тормозного механизма или замасленные фрикционные накладки и барабан, $F_{m \max} < F_{k \max}$. В этом случае будет наблюдаться проворачивание колеса при заторможенном беговом ролике стенда, будет отсутствовать блокировка колеса [8].

Далее, реализовать общую удельную тормозную силу $\gamma_m = 0,41$ на роликовых стендах невозможно [5]. Это обусловлено тем, что расчет γ_m по формуле (1) осуществляется исходя из условия полной массы автомобиля, а на стенде автомобиль испытывается порожним. Расчеты по формуле (1) показывают, что для обеспечения $\gamma_m = 0,41$, предельное значение суммарных тормозных усилий на всех колесах должно составлять 61,3 кН. На стенде с коэффициентом сцепления $\varphi = 0,55 \dots 0,58$ при порожнем автомобиле МАЗ можно реализовать суммарную тормозную силу только в пределах 38,2 ... 40,3 кН, т.е. меньше в 1,5 ... 1,6 раза, чем предусмотрено ГОСТ 25478-82. Для реализации предельных суммарных тормозных усилий в соответствии с требованиями стандарта, коэффициент сцепления поверхности шины с

беговыми роликами стенда должен составлять 1,13. Это условие на роликовых стендах выполнить невозможно. Даже на дорогах с асфальтобетонным покрытием коэффициент сцепления шины с дорогой $\varphi_0 = 0,7 \dots 0,8$ [9].

В-третьих, оценить тормозные свойства автомобиля по результатам испытания его на роликовых стендах и давлении воздуха в пневмосистеме, которое указано в инструкции по эксплуатации автомобиля, гарантировать исправную работу тормозной системы груженого автомобиля на дороге невозможно. Это обусловлено тем, что выбор давления воздуха в пневмосистеме осуществляется исходя из условия создания необходимых усилий $F_{\varphi_{\max}}$ для обеспечения определенных тормозных свойств груженого автомобиля и длительной работы тормозного механизма без ремонта. Поэтому давление, указанное в инструкции по эксплуатации, создает максимальное тормозное усилие гораздо выше, чем можно реализовать по тормозной силе на роликовых стендах или на дороге. При давлении в пневмоприводе 62,7 ... 71,5 Н у автомобиля МАЗ в тормозных механизмах всех колес создаются суммарные тормозные усилия в пределах 97,5 ... 118,3 кН, а на стенде можно реализовать не более 38,3 ... 40,3 кН, т.е. в 2,5 ... 2,9 раза меньше [12].

Проверить техническое состояние рабочей тормозной системы на роликовых стендах по методике ГОСТ 25478-82 и гарантировать ее исправную работу при экстренном торможении груженого автомобиля на дороге с асфальтобетонным покрытием не представляется возможным [5, 9].

Заключение

Необходимо пересмотреть и предложить критерии, которые могут явиться основополагающими для выбора предельных значений диагностических параметров с тем, чтобы правильно оценить техническое состояние рабочей тормозной системы и дать заключение о надежности ее работы в реальных условиях эксплуатации [2, 6, 9, 13].

Библиографический список

1. Алексеева С.В. Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин / Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Пендриков Е.С., Баринаева П.А., Кривоногова А.С. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 227-232.
2. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
3. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.

4. Кривоногова А.С. Сопротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
5. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
6. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
7. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
8. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
9. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
10. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
11. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
12. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
13. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
14. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО

Спиридонов С.В.

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9649-6007
e-mail	svslta@yandex.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9526-9599
e-mail	mex_kn2011@mail.ru
ФИО	Давыденко С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет
e-mail	davydenko.sergey00@icloud.com

Аннотация

В статье рассматриваются основные методы испытаний и расчета предельно допустимых значений диагностических параметров тормозной системы автомобиля с пневматическим приводом с учетом различных факторов эксплуатации.

Ключевые слова: максимальная тормозная сила, пневмопривод, предельные значения диагностических параметров, максимальное усилие тормозного механизма.

Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов

Кривоногова А.С., Пушкив Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А.

Введение.

Одним из критериев оценки эксплуатационной эффективности являются показатели проходимости лесных машин. Для увеличения тягово-сцепных качеств трелевочных машин применяются цепи противоскольжения, конструкция и вид которых выбирается с учетом состояния поверхности движения, конструкция машины и режима движения. Наибольший эффект цепи противоскольжения дают в зимних условиях. Так, на 4-х колесной трелевочной машине при установке цепей тяговое усилие увеличивается на 17-22%. Однако следует отметить, что сопротивление движению машины с цепями противоскольжения значительно увеличивается [2].

Давнишним поставщиком цепей противоскольжения в Россию являются фирмы OFA Oy AB, Olofsfors AB и GunneboIndustrial AB. Цепи изготавливаются из боросодержащей стали сквозной закалки. Данные цепи имеют значительно более высокую твердость, чем используемая для производства цепей обычная сталь поверхностной закалки. Преимущество цепей боросодержащей сквозной закалки хорошо демонстрирует график на рис. 1. Они имеют высокую долговечность [1].

Для лесных условий разработано несколько различных конструкций цепей. На рис. 2 представлена коронная цепь. Она быстро устанавливается на колесо и быстро снимается. Данная цепь увеличивает сцепление колес в глубоком снегу и на мягком грунте. Шипы корон проникают в грунт и сцепляются с ним. Благодаря неплотному исполнению цепи в ней не застревают загрязнения [5].

Отличным сцеплением и хорошими ходовыми качествами обладает массивная цепь для бездорожья (рис. 3а). Сцепление обеспечивается массивными прямыми звеньями и приваренными к ним шипами. Звенья и шипы выполнены из 16 мм прутка. Шипы цепей противоскольжения OFA на 3-4 мм выше, чем у других цепей (рис. 3б). Более высокие шипы увеличивают глубину их проникновения в грунт, что имеет решающее значение для повышения силы сцепления [17]. При езде цепь не вызывает вибрации даже на твердом основании, так как она обладает несущей способностью по всей окружности шины и плотно прилегает к ее поверхности [10].

Цепь решетчатой конструкции защищает поверхность износа шины и ее бока от камней и пней и одновременно увеличивает сцепление колес (рис. 4а). Она может переворачиваться для эксплуатации с обеих сторон. Кроме того цепь позволяет ездить по дорогам без повреждения дорожного покрытия. Толщина цепи составляет 14-19 мм, в зависимости от размера шины [16].

Лесная цепь для гололеда предназначена для установки на сельскохозяйственных тракторах [19] при выполнении работ средней тяжести (рис. 4б). В Финляндии эти цепи устанавливаются, в частности, на тракторах «Беларусь» при лесных работах. Размер 15,5x38 изготавливают из материала диаметром 11 мм. Шипы и поперечные цепи изготовлены из закаленной бористой стали. После сборки изнашивающиеся части подвержены поверхностной закалке. Для изготовления 11-миллиметровых звеньев цепи стали затрачено на 21% больше, чем для обычных звеньев толщиной 10 мм. Это обеспечивает более высокую износостойкость и прочность, а также лучшее сцепление с грунтом. Сочетание продуманной формы звеньев, достаточной длины шипов и толщины звеньев обеспечивает большую глубину проникновения цепи в грунт, что гарантирует надежное сцепление [14].

Для надежной установки цепей на колесах машины разработаны соединительные элементы различных конструкций. На рис. 5а представлен замок, с помощью которого осуществляется быстрая надежная фиксация боковых цепей [18]. Имея продуманную конструкцию, замок позволяет производить монтаж без каких-либо инструментов. Благодаря слегка изогнутому корпусу и рукоятке противоположное звено легко перемещается в нужную точку, после чего замок закрывается простым нажатием [15].

Подсоединение боковых звеньев к боковым нитям легких и средней тяжести цепей осуществляется с помощью специальных скоб (рис. 5б). Благодаря перемещаемым в боковом направлении скобам цепь без труда устанавливается на шину и натяжение цепи легко регулировать [11].

Для быстрой установки цепей без применения инструментов предлагается присоединительное звено наипростейшей конструкции (рис. 5в). С помощью таких звеньев часть цепи, подвергающейся износу, соединяется с боковой цепью, при этом можно легко отрегулировать натяжение [17]. При правильной величине натяжения цепь не изнашивается слишком быстро, не вызывает износа шин и не ударяется о крыло машины [1, 6].

Шины различных марок отличаются по своей форме. Одна и та же цепь может оказаться слишком длинной для одной шины и слишком короткой для другой. Решение этой проблемы возможно с помощью быстроразъемного соединения фирмы OFA, которое представлено на рис. 5г. Быстроразъемное соединение позволяет изменить конфигурацию цепи и установить ее на шины

любых размеров [18]. Перестановка одних и тех же цепей противоскольжения с машины на машину значительно повышают эффективность эксплуатации технических средств. Такой подход максимизирует использование цепей по времени в течение года [7].

Важную роль играет легкость установки цепей. Фирмами OFA, Olofsfors и Gunnebo отработан порядок этой работы, который приведен на рис. 6. Самую тяжелую часть работы делает трактор. Сначала цепь закрепляют на колесе [19]. Затем трактор медленно подает передним ходом и одновременно раскладывают цепь руками на шине. В заключении только остается установить соединительные звенья и закрепить замки боковой цепи [3].

При правильном натяжении цепь при езде должна звенеть, то есть должна быть посажена на колесо слабо [9]. Перенатянутая цепь быстро изнашивается, способствуя также быстрому изнашиванию шины колеса [12]. При этом цепь накапливает снег и загрязнения.

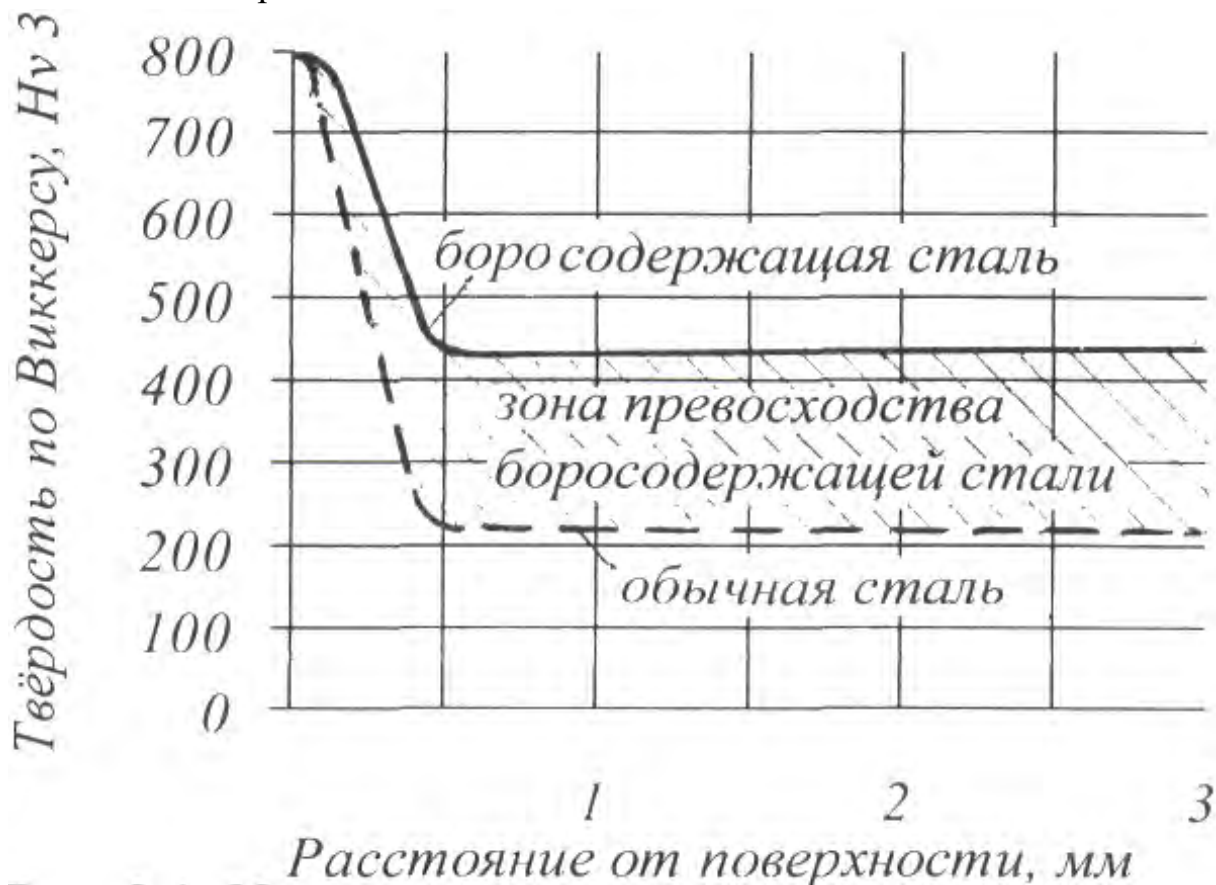


Рис. 1. Изменение твердости металла цепи противоскольжения в различных точках поперечного сечения

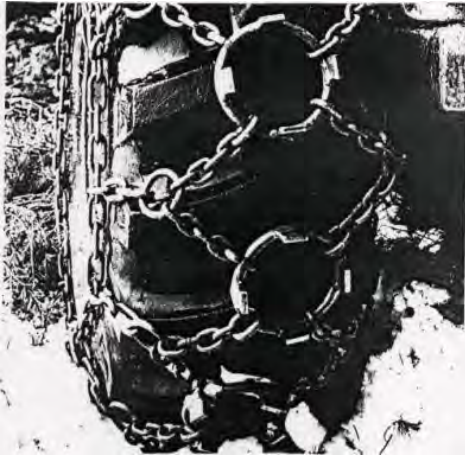


Рис. 2. Коронная цепь противоскольжения

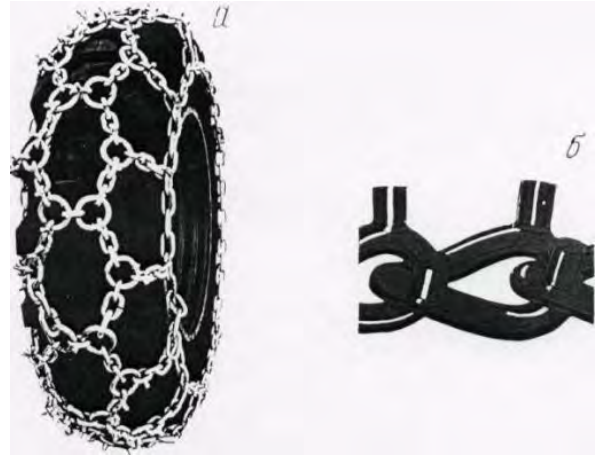


Рис. 3. Массивная цепь противоскольжения для бездорожья (а) и ее шипы (б)

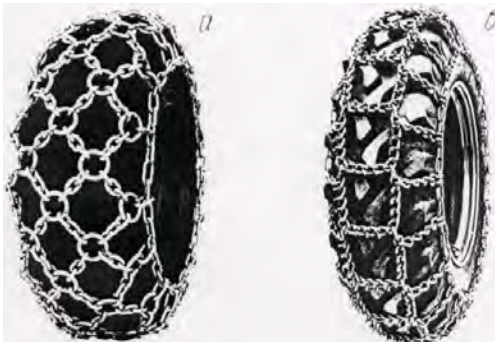


Рис. 4. Цепи противоскольжения:
а – решетчатой конструкции,
б – легкая для гололеда

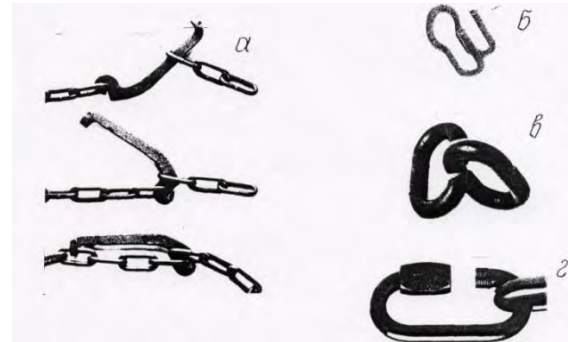


Рис. 5. Соединительные элементы для установки цепей на колеса машин:
а – замок фиксации боковых нитей цепей, б – соединительная скоба,
в – звено соединительное с проемом,
г – разъемное звено

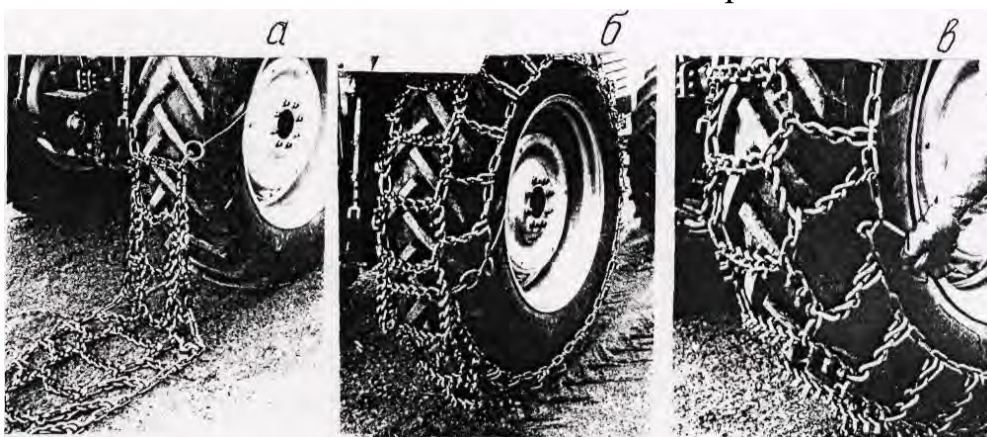


Рис. 6. Порядок установки цепи противоскольжения на шину колеса:
а – закрепление цепи на колесе, б – раскладка цепи на шине с помощью переднего хода трактора, в – установка соединительных звеньев и закрытие замка боковой нити цепи

Закключение

1. Конструкцию и вид цепей противоскольжения необходимо выбирать, исходя из состояния поверхности движения, конструктивных особенностей лесной машины и ее шин, режимов движения [4].
2. При установке цепей на лесные машины их тяговое усилие увеличивается до 22%, чем обеспечивается улучшение их проходимости. В то же время значительно повышается сопротивление движению машины [8].
3. Для лесных условий разработано несколько различных конструкций цепей противоскольжения [13]. Наибольшее распространение среди них нашли: коронная, массивная и решетчатая цепи, а также цепь для гололеда.
4. Применение гусеничных цепей является эффективным средством снижения нормального давления (в 1,5-2,5 раза) и улучшения тягово-сцепных качеств колесных лесных машин [2, 9]. Вместе с тем они увеличивают потери машины на самопередвижении [1].

Библиографический список

1. Войнаш С.А. К вопросу об оценке устойчивости гусеничного сортировочного вала / Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.
2. Добрынин Ю.А. Об одной особенности вертикальной динамики лесного трактора с колесной формулой 4×4 / Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Мартынов Б.Г., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Назарова М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 275-281.
3. Кретинин В.И. Характеристика отказов лесопосадочных машин / Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
4. Кривоногова А.С. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 281-287.
5. Парфенопуло Г.К. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов / Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
6. Пушков Ю.Л. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.

7. Пушков Ю.Л. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин / Пушков Ю.Л., Андронов А.В. // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
8. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
9. Пушков Ю.Л. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора / Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
10. Пушков Ю.Л. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниханов А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
11. Пушков Ю.Л. Улучшение тормозных свойств колесных лесопромышленных тракторов путем обоснования технических решений и параметров тормозной системы: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук (05.21.01) / Пушков Юрий Леонидович; СПбГЛТА им. С. М. Кирова. – СПб.:2003. – 153 с.
12. Пушков Ю.Л. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения / Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 292-299.
13. Чураков А.В. Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора / Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 287-292.
14. Remshev E.Yu. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission / Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
15. Rogovskii I.L. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening / Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E., // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.
16. Rogovskii, I.L. Research on Fuel Consumption for Different Values of Capacity Factor of Engine of Combine Harvester / Rogovskii, I.L., Voinash, S.A., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. № 666 (3), 2021 – p. 032093.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121

e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Чураков А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9526-9599
e-mail	mex_kn2011@mail.ru
ФИО	Москвина З.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет
e-mail	zlatenka2001@gmail.com

Аннотация

Затрагиваются вопросы повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов путем установки противоскользящих цепей. Дана оценка конструктивным характеристикам противоскользящим цепям, а также особенностям их применения в различных эксплуатационных условиях.

Ключевые слова: противоскользящие цепи, условия эксплуатации, эффективность работы, колесный трактор, соединительные элементы, проходимость.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Анализ эффективного использования лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: ретроспектива применения

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Иванов А.М.

Введение.

В ранее проведенных исследованиях, рассматривали лесоматериалы как одним из самых распространенных и широко используемых строительных материалов с многовековой историей применения [1, 5, 6, 17, 20]. Главными причинами широкого круга применения лесоматериалов – это самовосстановление природного материала. И Российская Федерация (как и в исторические времена, Российская Империя) является крупной державой по наличию запасов лесных ресурсов, в том числе и ценных пород древесины [1, 5, 6, 17, 20]. Многообразные свойства древесины, непередаваема красота, возможность создавать с его помощью разнообразные формы [1], а также надежность, прочность древесины и ее способность выдерживать большие нагрузки [10] способствовали возведению многочисленных объектов [19, 20], ценных архитектурных сооружений – от северных бревенчатых церквей и фахверковых сооружений средневековья до старинных деревянных мостов [5, 6, 17]. Древесина обладает свойствами, которые делают ее технически и функционально применимой в строительстве [6], но и побуждают испытывать симпатию к этому материалу [1].

Рассмотрим лесоматериалы как один из видов природных строительных материалов, запасы которого можно варьировать. Если высаживать новые леса, его запасы будут неисчерпаемы. Хотя вырубка массивов девственных лесов и посадка новых из пород древесных одного вида стройными рядами встречает на своем пути определенную оппозицию. Здесь можно отметить, что в период Римской Империи леса на территориях современных государств Англии, Франции, Германии давно исчезли и были заменены искусственным ландшафтом [20]. А в странах, где в естественных условиях не произрастают быстрорастущие и пригодные породы древесных в качестве лесоматериалов, необходимо организовать искусственные посадки привозных сортов, например некоторых видов сосны с лучшими качествами и характеристиками, как материала [4, 9, 11,12]. Испытывая образцы лесоматериалов на различные прочностные характеристики, согласно теории вероятности, можно предсказать прочность 95% материалов, используемых в индустрии [21]. Например, стойкость лесоматериалов к биологическому воздействию представляет серьезную проблему для эксплуатации древесины [18, 19]. А если известны параметры температуры, влажности, скорости движения воздуха в процессе

использования и эксплуатации лесоматериалов, эти условия можно воспроизвести в лабораторных условиях и определить стойкость различных пород древесины к воздействию грибков, насекомых [6, 17].

Можно пронаблюдать как во второй половине XIX века многие ученые, исследователи представляли будущее всего человечества, в условиях активного и неудержимо развития, когда общество исчерпает, израсходует естественные богатства Земли [14]. И уже в середине XX века, после Второй мировой войны сказалась резкая нехватка многих видов природного сырья [13]. Основными поставщиками сырья являлись страны, находившиеся под колониальным гнетом, но в последствие, получившие политическую независимость. Что представило возможности для прогнозирования дальнейшего развития, но из-за разразившегося энергетического кризиса в конце XX века поиск решений остается актуальным уже на протяжении не одного десятилетия [3, 15], и в начале XXI века остается высоко актуальным. Многие отрасли индустрии являются крупными потребителями природного сырья, как лесоматериалы, и вопросы качества этого сырья и возможность исчерпаемости его поставок стоят очень остро [8, 16].

Результаты промышленной революции, развитие, индустриализация производства, прогресс науки и техники позволили изучить, исследовать, применять новые методы в сохранении и улучшении природных качеств сырья лесоматериалов. Например, развитие производства новых гидроизоляционных пропиток и клеев способствовало расширению сферы использования лесоматериалов в различных индустриальных производствах, например, в строительстве [7].

Опыт применения лесоматериалов в истории в различных сферах жизнедеятельности человека насчитывает многие тысячелетия. До наших дней дошли некоторые отчеты и документы, где упоминается о возведении объектов с применением деревянных конструкций [2]. Не располагаем оригиналами античных манускриптов, но благодаря усилиям ученых, удалось установить тексты ряда книг греческих и римских авторов, имевших отношение к строительной науке [2, 8, 14]. А именно, обработка и применение лесоматериалов во все исторические периоды рассматривается как раздел строительных материалов, в соответствии с этим исторический опыт использования в той или иной мере лесоматериалов, рассматриваем как раздел строительной науки, суть производство строительных материалов [3, 5, 7]. От многих построек и сооружений сохранились лишь отдельные фрагменты, в силу того, что применялись деревянные конструкции без технологии сохранения и улучшения качества древесины. Небольшое число деревянных сооружений дошло до нас средневековья. Опыт использования лесоматериалов

с различными прочностными характеристиками в строительстве Китая и Японии, пришедший в Европу с некоторыми научными идеями, также интересен для исследования, и возможен в силу того, что сохранилось немало объектов. В отдельных случаях историкам сложно рассматривать тот или иной опыт, вследствие стихийных бедствий [5, 20].

На примерах некоторых исторических объектов с применением лесоматериалов в качестве строительного материала для изготовления конструкций. Римские деревянные сооружения не дошли до нашего времени, но имеются документы с их описанием. В описании «Галльская война» приводится пример возведения деревянного моста через Рейн протяженностью около 400м, из деревянных свай квадратного сечения 450мм, опущенные и забитые в дно реки, с шагом 12м. Подлинные чертежи не сохранились, но в XVI века Андрео Палладио выполнил эскиз этого сооружения с описанием. Конечно, можем только предполагать о характере римских деревянных сооружений и способах обработки деревянных конструкций по их описаниям. Например, некоторые описания Витрувия в дополнение к археологическим данным и результатам раскопок, произведенных в Англии, и реконструкции деревянного складского здания в плане 48×30м. Суть, что деревянный настил следует делать из зимних дубовых досок с целью предотвращения коробления, затем настил необходимо покрыть циновками или соломой, чтобы защитить от повреждений известью, т.к. верхний слой – это смесь из мелкого щебня, извести и размельченной черепицы. В описания Витрувия в своих сочинениях уделялось много информации о пригодности строительных материалов, их качества, в том числе и лесоматериалам, например, когда требуется сделать сводчатые потолки, на промежутках двух футов горизонтально ставят кружала, преимущественно кипарисовые, так как еловые скоро подгнивают и недолговечны...По расположению кружал к ним привязывают лыком из испанской лозы расплющенный греческий тростник...Ель, как состоящая от природы из более легких веществ, то есть, имея в себе больше всего воздуха и огня и меньше всего влаги и земного начала, не тяжеловесна. Будучи тугой по своей природной стойкости, она нелегко сгибается под тяжестью, но остается в настиле ровной. Но имея в себе порядочно тепла, она порождает гниль и от нее портится, к тому же быстро загорается...Летний дуб, как вдоволь изобилующий земными началами и имеющий мало влаги, воздуха и огня, будучи врыт в подземные сооружения, сохраняется на вечное время. И когда он подвергается действию влаги, не имея пористых отверстий он не может, благодаря своей плотности, вбирать в древесину жидкость, но, избегая влаги, противится, корежится и дает трещины в сооружениях... [17, 20]. В какой-то степени комментарии Витрувия по характеристикам качества строительных материалов

имеют недостатки в отношении лесоматериалов, но вполне логичны, чему имеет смысл уделить внимание исследования в отношении сохранения и улучшения качеств лесоматериалов [17, 20].

В период постепенного упадка Римской Империи, несмотря на распад императорской власти, в Риме поддерживался высокий уровень общественных служб, ведь большинство уцелевших памятников инженерного искусства были сооружены уже после падения Римской республики. В период Византийской империи возводилось много христианских храмов и соборов и мусульманских храмов, при их строительстве широко были распространены купола с применением конструкций из лесоматериалов, число которых превышало, в свое время, каменные сооружения. По причине, что конструкции из древесины обладают хорошей прочностью на растяжение, и сооружения не требовали устройства контрфорсов. Один из наиболее древних сохранившихся сооружений с деревянным куполом – Храм на Скале в Иерусалиме. Также деревянные купола особенно были распространены на Руси, в силу изобилия лесоматериалов, и применения луковичных куполов, которые просты при монтаже в деревянных конструкциях [1, 2, 8].

На территории Западной Европе сохранилось немного средневековых сооружений с применением лесоматериалов, наиболее известное деревянное покрытие Большого зала старого Вестминстерского дворца, 1394-1402 гг. Замечено, что формы местных деревянных конструкции мало изменились в период от XI до XVII вв. Лесоматериалы широко применялись при монтаже фахверка ограждающих стен, подпорных столбов в стропильных системах (также полностью выполненных из лесоматериалов). Отметим, что в средневековых сооружениях Китая и Японии, где активно применялись лесоматериалы в монтаже стропильных систем, исторических конструкций практически не сохранилось. Не вследствие потери качества лесоматериалами, а ввиду регулярной их замены на идентичные, с улучшенными качествами [7, 9, 12]. При возведении средневековых готических соборов основное использование лесоматериалов нашло применение при возведении сводов. Изначально возводилась деревянная крыша, защищавшая впоследствии свод, затем сам свод, и монтажный каркас из лесоматериалов с подъемными механизмами для подъема камней на высоту [4, 10, 15].

В эпоху Средневековья основные области применения лесоматериалов как строительных конструкций были стропильные системы и каркасы для возведения сводов, то в эпоху Возрождения характер использования лесоматериалов несильно изменился. Сохранилось много трактатов с описанием стропильных ферм, ссылавшихся на опыт римских правил проектирования. Римские правила проектирования, в том числе с применением

лесоматериалов, были возрождены Андреа Палладио в «Четырех книгах об архитектуре», MDLXX г. (1570 г.) [17].

В трактате Андреа Палладио Первой книге в разделе «О дереве» дает опытные рекомендации, о заготовках, переработке и другие комментарии относительно лесоматериалов. Интересный исторический опыт по заготовкам и сохранению качеств лесоматериалов. Лес должно рубить осенью и в течение всей зимы, так как в эту пору деревья возвращают себе из корней всю силу и крепость, которые тратятся весной и летом на листья и плоды; рубить его надо, когда нет луны, ибо в это время он бывает беден тем соком, который разрушительно действует на древесину; тогда и впредь он не будет страдать от червя и древооточца. Дерево надо надрезать только до половины сердцевины и в таком виде оставлять его сохнуть; тогда начинает просачиваться наружу сок, производящий гниение. Срубленный лес должен быть сложен в такое место, куда не проникает ни солнечный жар, ни резкий ветер, ни дождь; и особенно должно беречь лес, который вырос сам, не будучи посаженным; для того же, чтобы бревна не растрескивались и сохли равномерно, их надо смазать коровьим пометом. Переносить же лес следует не по росе, но после полудня; также не следует обрабатывать его мокрым от росы или чересчур сухим, потому что в первом случае он легко подгнивает, а во втором губит всю работу; он не раньше трех лет будет достаточно сухим для постройки полов, дверей, окон. Каждому хозяину, желающему строить, необходимо заранее осведомиться у опытных людей, понимающих толк в свойствах древесных пород, о том, какое дерево для чего годится и для чего нет. Витрувий в указанном месте дает по этому поводу хорошие наставления, равно как и другие ученые, много об этом писавшие [17]. Конструкции с применением лесоматериалов, спроектированные Андреа Палладио, напоминают античные прототипы безраскосных конструкций. Но деревянные конструкции с диагональными раскосами стали обычными в применении после XVI века. А стропильные системы на основе расчета треугольника сил, разработанного Стевиным, стали применять только после 1847 г. [14]. Но конструкция деревянных стыков, способных работать на растяжение, применялись уже в XV веке, а их прототипы, вероятнее всего, относятся к более ранним периодам [7].

На территории Западной Европе наука быстро развивается в XVII веке. И уже в XVIII веке требуется некая систематизация накопленных знаний в науке и технике. Дени Дидро и Жан ле Рон Д'Аламбер включают в свои труды разделы «ремесла» и «механические искусства», в которых уделяется внимание и лесоматериалам, как сырью для изготовления строительных конструкций. Стремление философов и ученых XVIII века к познанию первопричин возникновения всех проблем подготовило французскую революцию 1789 г., и

вызвало многие изменения в различных отраслях науки, в том числе в технологии производства строительных материалов. Создавались различные профессиональные училища, «Школы» разных профилей и направленностей, и в 1795 г. несколько строительных училищ были объединены в Политехнический институт под руководством математика Гаспара Монжа. С этого периода, можно считать, что строительные материалы в обязательном порядке испытывались на прочностные характеристики, подвергались множествам расчетов и пр. Испытание материалов на прочность имело место в порядке отдельных опытов еще в период раннего Возрождения, и лишь начиная с XVII в. производились систематические испытания. Испытания проводились под руководством физиков, составлявших таблицы прочности различных видов древесины на растяжение, сжатие, изгиб. Диапазон испытаний ограничивался мощностью машинного оборудования. Наиболее известные таблицы Петруса ван Мушенброка, профессора физики в университете г. Лейден. Его труд содержит главу «Введение в теорию сцепления твердых тел», 1729 г. Приведенные в ней показатели пользовались высоким авторитетом в течение XVIII и начала XIX столетия. Таблицы Мушенброка по прочности древесины были воспроизведены и опубликованы в 1867 г. издании «Трактата о прочности материалов» профессора Питера Берлоу. В своем труде Мушенброк утверждал, что нет практической необходимости в установлении природы внутренних сил сопротивления, величина которых может быть удовлетворительно определена испытательной машиной. Полагал также, что упругость является внутренней притягательной силой. И эта концепция распространена в наше время, на ряду с концепцией Исаака Ньютона, что частицы тел привлекает друг к другу некая сила, исключительно мощная при непосредственном контакте, на малых расстояниях она осуществляет химическую работу и распространяется весьма недалеко от частиц [7].

Начало промышленной революции принято считать после, так называемого периода, когда состоялась ассамблея Генеральных штатов в Версале 5 мая 1789 г. Сам термин «промышленная революция» имел место в кругах историков и экономистов. Но влияние промышленной революции на строительство и изготовление строительных материалов было более значимым, нежели влияние французской революции. Были созданы и усовершенствованы строительные системы и технологические приемы, которые за короткий отрезок времени в полтора столетия полностью изменил методику проектирования, что отразилось на технологии изготовления строительных материалов из сырья лесоматериалов в XX веке, продолжая прогрессивное развитие XXI веке. Необходимы были новые технологии, методы обработки

древесины [8, 12, 16], отвечающие требованиям качества лесоматериалов в современных нестабильных экономических условиях [7, 11, 13].

Заключение

Анализируя исторический опыт влияния качественных параметров лесоматериалов на применение [13, 16] в строительных конструкциях можно получить результаты и некоторые заключения [7, 11, 13]. Северные деревянные дома также служат доказательством того, что дерево именно в условиях сурового северного климата оказывается особенно подходящим, чтобы создавать условия комфортного пребывания и проживания обывателей [8, 11, 12].

Библиографический список

1. Атлас деревянных конструкций / К.-Г. Гетц, Д. Хоор, К. Мелер, Ю. Наттерер; Пер. с нем. Н.И. Александровой; Подред. В.В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.: ил. – Перевод изд.: *Holzbau Atlas* / К.-Н. Götz, D. Hoor, K. Möhler, J. Natterer. – München, 1978.
2. Бирман А.Р. Анализ эксплуатационных параметров уплотненной древесины / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // *Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г.* – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.9-12.
3. Бирман А.Р. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях ландшафтной архитектуры / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // *Актуальные графические технологии. Выпуск I: Современные и традиционные изобразительные средства в ландшафтном проектировании* - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.
4. Бирман А.Р. Способ повышения производительности процесса склеивания деревянных щитов / Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Кривоногова А.С., Угрюмов С.А., Тамби А.А. // *Клеи. Герметики. Технологии. 2021 №1* – М.: «Наука и технологии», 2021. – 46 с. С. 36-40.
5. Коуэн Г. Дж. Мастера строительного искусства: История проектирования сооружений и среды обитания со времен Древнего Египта до XIX века / Пер. с англ. Д.Г. Копелянского; Под ред. Л.Ш. Килимника. – М.: Стройиздат, 1982. – 240 с.: ил. – Перевод изд.: *The Master Builders: A history of structural and environmental design from ancient Egypt to the nineteenth century* / Henry J. Cowan. – A Wiley – Interscience Publication.
6. Коуэн Г. Дж. Строительная наука XIX- XX вв.: Проектирование сооружений и систем инженерного оборудования / Пер. с англ. В.А. Коссаковского; Под ред. Л.Ш. Килимника. – М.: Стройиздат, 1982. – 359 с.: ил. – Перевод изд.: *Science and Building* / H/J/ Cowan. – John Wiley & Sons.
7. Кривоногова А.С. Вопросы определения экономической эффективности применения прессованной древесины при производстве в современных социально-экономических условиях / Кривоногова А.С. // *Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г.* – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.35-39.
8. Кривоногова А.С. К вопросу о теоретическом обосновании закономерностей изменения прочностных характеристик от степени уплотнения древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Скворцов В.В., Осипов Ф.М. // *Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года.* – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 278-284.

9. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – 427 с. С. 293-302.
10. Кривоногова А.С. Предпосылки к теоретическому обоснованию закономерностей изменения прочностных характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Марков В.А. Иванов Л.Д., Девяткин А.В. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 247-252.
11. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными качественными характеристиками в конструкциях садово-паркового строительства. Исторический ракурс / Кривоногова А.С. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 212-218.
12. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: исторический ракурс использования / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Беспалова В.В., Аннаев Г. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 354-363.
13. Кривоногова А.С. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в строительных конструкциях / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 269-278.
14. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.21.01) / Кривоногова Александра Станиславовна; СПбГЛТУ. – СПб., 2015. – 20 с.
15. Кривоногова А.С. Теоретическое обоснование зависимости изменения прочностных характеристик от коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 252-261.
16. Кривоногова А.С. Экономической эффективности применения прессованной древесины в производстве в контексте современных социально-экономических условий / Кривоногова А.С., Добрынин Ю.А., Соколова В.А., Нарметов Темур // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 261-269.
17. Палладио Андреа. Четыре книги об архитектуре / Пер. с итал. И.В. Жолтовского; Под ред. А.Г. Габричешского. – Факс. Изд. – М.: ООО Издательство «Архитектура-С», 2006. – 352 с.: ил.
18. Сергеевичев В.В. Вопросы области применения модифицированной древесины методом глубокого уплотнения / Сергеевичев В.В., Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. // Материалы второй международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 3. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с., с. 128-130.
19. Эйвазов А.Ф. К вопросу о прочностных расчетах сооружений / Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынины Ю.А., Беспалова В.В., Диязетдинов Р.Р. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 346-354.
20. Marcus Vitruvius Pollio. The Ten Books of Architecture. – Dover, New York, 1960. – 331 p.
21. Shifrin, B.M. Development of a Feed Mechanism Control Model for KARA Master Circular Saw Based on SWITCH Technology / Shifrin, B.M., Yeliseev, I.V., Sokolova, V.A., Krivonogova, A.S., Pushkov,

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Иванов А.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	нет
e-mail	ivanov_alex_200001@mail.ru

Аннотация

В данной статье представлен обзор ретроспективы по использованию, систематизации возможностей показателей лесоматериалов в контексте применения в строительных материалах.

Ключевые слова: древесина, физико-механические характеристики, строительные материалы, строительные конструкции.

УДК 72.023:694.1+674.049.2

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.05; 66.43.31; 67.09.41; 67.11.37

Влияние гидростатического давления пропиточной жидкости на улучшение физико-механических характеристик строительных лесоматериалов

Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Ларионова К.Д.

Введение.

Из ранее проведенных исследований [1, 3, 4, 10, 13, 15, 17] можно сделать выводы, что эффективным способом повышения стойкости древесины является защитная обработка пропиткой [1, 6, 8, 12, 14, 16].

Рассмотрим вопрос в границах области применения. Рассматриваем использование возможностей процессов защитной пропитки древесины жидкостями для повышения качественных характеристик, повышения стойкости от агрессивных воздействий длинномерных сортиментов, используемых как опоры вертикальных несущих конструктивных элементов [2, 5, 7, 9, 11], применяемых в монтаже различных промышленных, сельскохозяйственных, энергетических, транспортных зданий и сооружений, инженерных конструкций коммуникационной функциональности, где монтируемые узлы соединения конструкций, как правило, погружены на часть своей высоты нижней частью в конструкцию заделки с агрессивными разрушающими воздействиями [7, 10, 18]. В контексте области применения рассматриваем и анализируем известные способы пропитки с целью выявления наиболее рационального и эффективного применения, также экономически выгодного, в соответствии с тяжелым экономическим современным положением [3, 4, 17, 18].

В качестве пропиточных материалов используют жидкие масла и растворы различных веществ в воде или органических растворителях [9, 19]. Процесс пропитки в большинстве случаев является чисто физическим, так как пропиточные жидкости не вступают в химическую реакцию с древесиной [5, 8, 13]. Проникновение пропиточного раствора в древесину происходит в результате действия сил различной физической природы: капиллярных, центробежных, диффузионных, электростатических сил, сил давления и пр. [11, 14, 17].

Проанализировав технологические процессы способов пропитки, получаем некоторые результаты, которые выявляют достоинства и недостатки тех или иных процессов пропитки по преобладающему воздействию физических сил в границах нашей области применения для длинномерных сортиментов как элементов вертикальных конструктивных элементов [4, 6, 12].

Пропитка происходит в условиях преобладающего воздействия каждого вида сил, поэтому способы пропитки подразделяют по преобладающему виду воздействия этих сил [12, 17].

Анализируя известные способы пропитки древесины можно отметить, что способы капиллярной и диффузионной пропитки малопродуктивны из-за длительности процесса, достигающей нескольких месяцев. А также во многих случаях малоэффективны из-за незначительной глубины проникновения (несколько миллиметров) пропиточных жидкостей в древесину [3].

Недостатками пропитки за счет электростатических сил являются значительная энергоемкость процесса и техническая сложность его осуществления [1, 3].

Поэтому на практике, в основном, осуществляют пропитку под давлением, используя автоклавный метод и метод, основанный на проникновении пропиточной жидкости в древесину под давлением центробежных сил [1, 6].

Недостатками способов автоклавной пропитки являются: большая продолжительность процесса и неравномерность распределения пропитывающего состава; наибольшее содержание пропитывающего состава в поверхностной области древесины [17]; эффект «защемления воздуха» в центральных областях древесины, что обусловлено одновременным поступлением пропитывающей жидкости под давлением с наружной поверхности к центру пропитываемого материала. Кроме этого, автоклавы для пропитки длинномерных сортиментов сложны в изготовлении, обслуживании и материалоемки [2, 11].

Способ пропитки в центробежном поле обычно осуществляется встречно-центробежным способом [1, 3]. При этом способе на вращающейся платформе центрифуги помещается мягкость с пропитывающей жидкостью, в мкость загружают древесину, ориентируя ее продольными волокнами радиально относительно плоскости вращения [4, 14].

Недостатками способа пропитки в центробежном поле являются:

- техническая сложность осуществления способа (изготовление центрифуги, большие габариты и масса рабочей платформы);
- трудоемкость и неудобство загрузки-разгрузки пропитываемых материалов, особенно длинномерных;
- необходимость контроля и периодического дозированного пополнения уровня пропитывающей жидкости;
- высокая стоимость оборудования;
- высокая энергоемкость процесса пропитки, обусловленная необходимостью обеспечения вращения и периодических остановок (для загрузки-разгрузки) платформы с массой в десятки тонн;

– малая производительность, обусловленная ограниченными габаритами платформ центрифуг [8].

В данном исследовании предлагается способ пропитки древесины под давлением, исключающий вышеперечисленные недостатки известных способов пропитки длинномерных сортиментов. Способ в наибольшей степени рекомендуется для сортиментов, используемых в виде вертикальных опор, нижняя часть которых подвергается интенсивному разрушающему воздействию среды размещения (опоры линий электропередач, сваи, заглубленные в грунт или бетон и т.д.). Отметим, что защитная пропитка всего объема сортиментов указанного назначения нецелесообразна. Тогда как их рабочая зона, заглубленная в агрессивную среду, должна иметь максимальное насыщение защитным раствором, причем по всему объему площади поперечного сечения [13, 14]. И с целью повышения производительности, пропитку желательнее производить групповым способом, что позволяет рассматриваемый предлагаемый технологический процесс пропитки [15].

Предлагаемый способ включает известные операции размещения сортиментов в пропиточной жидкости с последующей их выгрузкой. Способ отличается тем, что вначале бревна пачкой (или поштучно), ориентируя комлевой частью вниз, загружают в клеть, конструкция которой обеспечивает свободный доступ жидкости к древесине. Затем клеть поднимают над сборочной площадкой, например, краном, фиксируют массу груза, например, динамометром, установленном на грузозахватном приспособлении крана, и опускают на дно емкости с пропитывающей жидкостью. Объем жидкости должен быть достаточно для погружения клетки, с обеспечением нахождения верхних торцов сортиментов над поверхностью жидкости [4].

Пачку выдерживают до достижения пропиточной жидкостью заданной высоты, измеряемой от нижнего торца сортиментов. Пропитка, которая осуществляется за счет движения жидкости через бревна снизу вверх под воздействием разности гидростатического давления на дне емкости и у верхнего торца вертикально расположенных сортиментов [3, 17].

Отметим, что чем длиннее сортименты, а значит и высота жидкости в пропиточной ванне, тем больше величина гидростатического давления на дне емкости, и тем интенсивнее идет процесс пропитки. Так, например, при пропитке сортиментов длиной 10 м (телеграфные столбы) разность давления на дне ванны и атмосферного давления (на верхнем уровне пропиточной жидкости) составляет 0,1 МПа. Вес клетки должен быть таким, чтобы удельный вес суммарного груза (клетки с бревнами) был больше удельного веса пропитывающей жидкости [10].

Размещение бревен в клетки комлевыми торцами вниз обеспечивает ускорение процесса пропитки, так как пористость древесины увеличивается для большинства пород от комля к вершине [14]. А значит, увеличивается и коэффициент фильтрации [13, 15].

Устройство работает следующим образом. Бревна загружают в клеть, установленную на сборочной площадке [11]. Затем клеть канатом, соединенным с грузозахватным приспособлением крана поднимают над уровнем земли и динамометром фиксируют суммарный вес клетки и бревен. Затем клеть с бревнами опускают на дно емкости, заполненной пропиточной жидкостью (например, антисептиком) и осуществляют процесс пропитки [10].

Завершив пропитку, клеть с бревнами вынимают из емкости краном, дают стечь пропиточной жидкости с поверхности бревен и вторично фиксируют вес клетки с бревнами динамометром, определяя достаточную степень пропитки [15]. Затем подают клеть к месту разгрузки пропитанных бревен, производят разгрузку и процесс повторяется [14].

Пропиточная емкость может быть выполнена как в виде заглубленного бассейна, так и в виде емкости, основание которой размещено на уровне земли.

Степень пропитки можно определять (как вариант) не весовым методом (динамометром), и по снижению уровня жидкости в период пропитки. Продолжительность пропитки для различных сортиментов устанавливают эмпирически, используя, например, подкрашенные пропиточные жидкости. Пропитку прекращают при насыщении антисептиком рабочей части опор [1, 3, 4].

Аналитическое определение времени пропитки сортиментов на определенную их длину, измеренную от нижних торцов, возможно, осуществлять, построив математическую модель процесса [13, 15]. При этом считаем, что пронизываемое пространство водопроводящих путей древесины является капиллярно-пористой средой [14, 17].

Предлагаемое техническое решение обеспечивает: снижение энергозатрат процесса пропитки за счет исключения затрат на создание давления в пропитывающей жидкости; достижение равномерности пропитки по поперечному сечению древесины путем обеспечения выхода воздуха из древесины в направлении обратном направлению подачи давления; упрощение загрузки-выгрузки лесоматериалов [16], особенно длинномерных; упрощение процесса пополнения и контроля объема пропиточной жидкости в емкости; переход от индивидуального к групповому способу обработки упрощает технологический процесс и обеспечивает повышение производительности [17].

Заключение

Рассмотрены способы пропитки, дан их критический анализ. Предложен новый способ пропитки, осуществляемый путем погружения в пропиточную антисептическую жидкость вертикально ориентированной пачки круглых лесоматериалов [7, 10, 14]. Пропитанные материалы предназначены для использования в качестве вертикальных опор, нижняя часть которых подвергается интенсивному разрушающему воздействию среды размещения (опоры линий электропередач, сваи, заглубленные в грунт, бетон и т.д.) [3, 13, 18]. Способ снижает энергоемкость процесса пропитки по отношению к известным способам пропитки, а также расход пропитывающей жидкости [6, 15, 17].

Библиографический список

1. Бирман А.Р. Борирование древесины пропиткой с целью повышения ее нейтронозащитных свойств / А.Р. Бирман, В.А. Соколова, А.С. Кривоногова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып: 208. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 277 с. С. 130-138.
2. Бирман А.Р. Использование методов пропитки длинномерных сортиментов сырья / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2015 №1 – Нижневартковск: НВГУ, 2015. – 94 с. С. 45-48.
3. Бирман А.Р. Критический анализ использования способов пропитки с целью повышения качественных характеристик древесного сырья / Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Кривоногова А.С., Тоан Нгуен Ван // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2016. – 159 с. С. 58-60.
4. Бирман А.Р. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях ландшафтной архитектуры / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Актуальные графические технологии. Сборник статей. Том. Выпуск I: Современные и традиционные изобразительные средства в ландшафтном проектировании. Сер. «Серия научных изданий» – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.
5. Бирман А.Р. Определение коэффициента фильтрации и параметров процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А. // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – 427 с. С. 238-243.
6. Бирман А.Р. Пропитка древесины гидростатическим способом / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сборник науч. труд. по материал. заоч. НПК, 2014 г. №5 ч. 4 (10-4). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – 410 с. С. 33-38.
7. Бирман А.Р. Способ повышения производительности процесса склеивания деревянных щитов / Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Кривоногова А.С., Угрюмов С.А., Тамби А.А. // Клеи. Герметики. Технологии. 2021 №1 – М.: «Наука и технологии», 2021. – 46 с. С. 36-40.
8. Бирман А.Р. Технологическое устройство для пропитки капиллярно-пористых тел / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2017. – 166 с. С. 99-101.
9. Бирман А.Р. Торцовая пропитка длинномерных сортиментов / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2014 № 7 – М.: «Буква», 2014. – 504 с. С. 281-285.
10. Кривоногова А.С. Анализ движения жидкости в капиллярно-пористых структурах в контексте улучшения механических показателей конструкционных материалов / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Беспалова В.В // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы IV НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449с. С. 361-363.

11. Кривоногова А.С. Анализ использования процессов пропитки в технологии производства древесного угля / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Соколова В.А., Бирман А.Р., Крестинин В.И. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 458-464.
12. Кривоногова А.С. Влияющие методы гидростатического давления пропиточной жидкости на повышение технических характеристик лесоматериалов / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Гутлыев А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 464-471.
13. Кривоногова А.С. К вопросу о математическом моделировании технологии пропитки капиллярно-пористых структур / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Пушков Ю.Л., Парфенопуло Г.К. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 471-477.
14. Кривоногова А.С. Математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами пероксида / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – 427 с. С. 251-256.
15. Кривоногова А.С. Моделирование процесса пропитки капиллярно-пористых структур в производстве древесно-угольных сорбентов / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан, Белоногова Н.А. // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 224с. С. 204-205.
16. Кривоногова А.С. Пропитка капиллярно-пористых структур встречно-центробежным способом / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник трудов по материалам международной заочной НПК, 2015. - № 2, ч.1 (13-1). Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2015. – 487 с. С. 236-240.
17. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.21.01) / Кривоногова Александра Станиславовна; СПбГЛТУ. – СПб., 2015. – 20 с.
18. Кривоногова А.С. Теоретическое обоснование процесса движения жидкости в капиллярно-пористых средах в контексте повышения прочностных характеристик материала / Кривоногова А.С, Nguen V.T., Соколова В.А., Бирман А.Р., Беспалова В.В. // Системы Методы Технологии. Выпуск 3 (39) – Братск: БрГУ», 2018 г. – 164 с. С. 130-135.
19. Соколова В. А. Использование железо-водных и дерево-железных смесей в защите от ионизирующих излучений / Соколова В. А., Бирман А.Р., Орлов В.В., Теппоев А.В., Кривоногова А.С., Бачериков И.В., Парфенопуло Г.К. // Системы Методы Технологии. Выпуск 1 (37), Братск: ФГБОУ ВО «БрГУ», 2018 г. – 164 с., С. 94-99.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com

ФИО Бирман Алексей Романович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3247-9904
e-mail birman1947@mail.ru

ФИО Пушков Ю.Л.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5633-1797
e-mail pushkov_yura@mail.ru

ФИО Ларионова К.Д.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код нет
e-mail 1998kl@mail.ru

Аннотация

Представлен обзор методики проведения экспериментов по пропитке капиллярно-пористых структур. Выполнен критический анализ способов пропитки капиллярно-пористых структур. Рассмотрены рекомендации по осуществлению встречно-центрифужного способа пропитки в поле центробежных сил и определены режимы пропитки на экспериментальном и производственном оборудовании.

Ключевые слова: древесина, капиллярно-пористые структуры, пропитка в поле центробежных сил.

УДК 630*841.21:544.022.537

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99; 66.03.03

К вопросу об анализе предпосылок теоретического обоснования закономерностей изменения качественных характеристик уплотненной древесины

Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Жаренков Е.И.

Введение.

В данной статье представлена систематизация известных [10, 16], проработанных ранее материалов в источниках [8, 9, 14], и получение новых экспериментальных данных по изменению физико-механических свойств [17] с целью повышения прочностных характеристик [13] уплотненной древесины [5], также выявление закономерностей изменения физико-механических характеристик [11] древесины при ее уплотнении [2]. Установление деформативных [12, 15, 19] свойств древесины мягких лиственных пород [4], необходимых для разработки режимов уплотнения и определения их параметров [18]. Определение возможности полноценной замены ценных пород древесины и других дефицитных и дорогостоящих материалов [20] уплотненной древесины [1]. Проанализированы формы функциональных зависимостей [6] для физико-механических характеристик уплотненной древесины [7] от ее плотности. Рассматривались значения коэффициентов качества (прочности, твердости и износа) и их применение при максимально возможном уплотнении [3].

Целью этих исследований было, во-первых, установление деформативных свойств древесины мягких лиственных пород, необходимых для разработки режимов уплотнения и определения их параметров [1], во-вторых, выяснение возможности полноценной замены ценных пород дерева и других дефицитных и дорогостоящих материалов уплотненной древесины [5], и, в третьих, выявление закономерностей изменения физико-механических характеристик древесины при ее уплотнении с тем, чтобы получить возможность прогнозировать эти свойства [8].

Методика теоретического обоснования базировалась на выявлении параметров функциональных взаимосвязей физико-механических характеристик уплотненной древесины от ее плотности и степени уплотнения [21]. После установления формы зависимости и определения ее параметров по экспериментальным данным была найдена степень приближения последних к аппроксимирующим зависимостям [22].

В качестве исходных, приняты аппроксимирующие зависимости физико-механических характеристик от плотности [7]. Вид этих зависимостей был установлен при систематизации большого объема известных экспериментальных данных [9].

Определялись и анализировались параметры уравнений, аппроксимирующих физико-механические характеристики в функции от плотности [6]. Кроме того, здесь же выявлялось взаимовлияние указанных величин [8]. По аппроксимирующим зависимостям для физико-механических характеристик [22] определялись законы изменения соответствующих удельных характеристик [21].

В ходе исследования было выявлено при каких эксплуатационных нагрузениях или условиях работы уплотненная древесина даст наибольший эффект [15]. Это позволяет в дальнейшем выделить оптимальные области ее использования [16].

Во-вторых, выявлен характер и интенсивность изменения различных физико-механических характеристик при уплотнении древесины [16]. Это позволит выяснить рациональные степени уплотнения при различных видах нагружения [6]. С другой стороны, экстраполяция полученных зависимостей может уточнить перспективы уплотненной древесины, как нового конструкционного материала [13].

В-третьих, аналитическое выражение закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины в функции от ее плотности или объемной массы позволяет перейти к соответствующим закономерностям применения характеристик от степени уплотнения [20]. Аналогично определяются аналитические зависимости для коэффициентов качества или удельных характеристик уплотненной древесины [8]. Эти зависимости позволяют в самой общей форме исследовать и определять критерии экономической и технической целесообразности уплотненной древесины, которые неразрывно связаны с физико-механическими и прочностными характеристиками [6, 14].

Заключение

Таким образом, из предпосылок к теоретическому обоснованию можно получить результаты и некоторые заключения [2-5, 10-12, 17-18]:

- определение оптимальных областей промышленного применения уплотненной древесины и ее перспектив.
- определение наиболее выгодных степеней уплотнения в зависимости от характера использования.
- подготовка аналитических закономерностей для установления и анализа технического и экономического критериев рациональности уплотненной древесины [1, 6-9, 14, 16, 20].

Библиографический список

1. Бирман А.Р. Анализ эксплуатационных параметров уплотненной древесины / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.9-12.
2. Бирман А.Р. Модификация древесины мягких лиственных пород методом глубокого уплотнения / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан // Научное обозрение. 2015. Вып. 17. 462 с. С. 90-94.
3. Бирман А.Р. Способ повышения производительности процесса склеивания деревянных щитов / Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Кривоногова А.С., Угрюмов С.А., Тамби А.А. // Клеи. Герметики. Технологии. 2021 №1 – М.: «Наука и технологии», 2021. – 46 с. С. 36-40.
4. Кривоногова А.С. Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 314-320.
5. Кривоногова А.С. Вопросы определения экономической эффективности применения прессованной древесины при производстве в современных социально-экономических условиях / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.35-39.
6. Кривоногова А.С. К вопросу о теоретическом обосновании закономерностей изменения прочностных характеристик от степени уплотнения древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Скворцов В.В., Осипов Ф.М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 278-284.
7. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – 427 с. С. 293-302.
8. Кривоногова А.С. Модификация древесины методом уплотнения с целью получения древесного угля с высокой сорбционной способностью / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С. 27-32.
9. Кривоногова А.С. Предпосылки к теоретическому обоснованию закономерностей изменения прочностных характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Марков В.А. Иванов Л.Д., Девяткин А.В. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 247-252.
10. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными качественными характеристиками в конструкциях садово-паркового строительства. Исторический ракурс / Кривоногова А.С. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 212-218.
11. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: исторический ракурс использования / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Беспалова В.В., Аннаев Г. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 354-363.
12. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений

- подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
13. Кривоногова А.С. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в строительных конструкциях / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 269-278.
 14. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.21.01) / Кривоногова Александра Станиславовна; СПбГЛТУ. – СПб., 2015. – 20 с.
 15. Кривоногова А.С. Сопротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
 16. Кривоногова А.С. Теоретическое обоснование зависимости изменения прочностных характеристик от коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 252-261.
 17. Кривоногова А.С. Технология уплотнения древесины мягких лиственных пород в производстве древесного угля / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Марков В.А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 477-483.
 18. Кривоногова А.С. Экономической эффективности применения прессованной древесины в производстве в контексте современных социально-экономических условий / Кривоногова А.С., Добрынин Ю.А., Соколова В.А., Нарметов Темур // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 261-269.
 19. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
 20. Сергеевичев В.В. Вопросы области применения модифицированной древесины методом глубокого уплотнения / Сергеевичев В.В., Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. // Материалы второй международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 3. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с., с. 128-130.
 21. Соколова В.А. Пути улучшения качества продукции на деревообрабатывающем предприятии / Соколова В.А., Кривоногова А.С., Иванов А.М., Марков В.А., Парфенопуло Г.К. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 50-55.
 22. Эйвазов А.Ф. К вопросу о прочностных расчетах сооружений / Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынин Ю.А., Беспалова В.В., Диязетдинов Р.Р. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 346-354.

Сведения об авторах

ФИО

Кривоногова А.С.

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации	университет имени С.М. Кирова 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Жаренков Е.И.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	zharenkove@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются систематизация известных и получение новых экспериментальных данных по изменению физико-механических свойств с целью повышения прочностных характеристик уплотненной древесины, также выявление закономерностей изменения физико-механических характеристик древесины при ее уплотнении. Проанализированы формы функциональных зависимостей для физико-механических характеристик уплотненной древесины от ее плотности. Рассматривались значения коэффициентов качества (прочности, твердости и износа) и их применение при максимально возможном уплотнении.

Ключевые слова: древесина, физико-механические характеристики, уплотнение древесины.

УДК 630*867.5.674.049.2:519.23.528.14

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99; 66.03.03

К анализу предпосылок теоретического обоснования взаимосвязи изменения качественных показателей и степени уплотнения древесины

Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Цветков Н.С.

Введение.

Проанализируем некоторые результаты ранее полученных исследований, представленных в источниках [1, 2, 6, 8, 14, 16] и результаты предпосылок систематизация экспериментальных данных [3, 5, 7, 9, 13, 14, 18] по изменению прочностных характеристик уплотненной древесины. В ранее проведенных исследованиях [4, 11, 17, 20] были проанализированы деформативные свойства древесины мягких лиственных пород, необходимых для разработки режимов уплотнения и определения их параметров [10, 12, 15, 19], также были установлены возможности полноценной замены ценных пород древесины и других дефицитных и дорогостоящих материалов уплотненной древесины [21, 22]. Выявлены формы функциональных зависимостей для физико-механических характеристик уплотненной древесины от ее плотности. [1, 5, 11, 14, 20].

Проанализируем зависимости характеристик уплотненной древесины от плотности, как было представлено в [1, 7, 9]. Рассмотрим зависимости характеристик прочности и жесткости. Физико-механические характеристики уплотненной древесины, выраженные коэффициентом k и определяющие ее прочность и жесткость, в подавляющем большинстве случаев могут быть представлены как линейные функции от плотности [6, 8, 14, 16]. Тогда, исходя из этой основной зависимости, можно получить зависимости характеристик от степени уплотнения. Если воспользоваться выражением степени уплотнения по начальным параметрам элемента [3, 4, 11].

Нам известно, что физико-механические характеристики уплотненной древесины представлены как линейные функции от плотности [1, 6, 16] и на основании этого получаем зависимости характеристик от степени уплотнения [8, 9, 14, 16] по начальным параметрам элемента.

$$K = a + b\gamma \quad (1)$$

где γ – удельный вес; a и b – аппроксимирующие коэффициенты.

$$\varepsilon_1 = \frac{\gamma - \gamma_0}{\gamma},$$

$$\gamma = \frac{\gamma_0}{1 - \varepsilon_1},$$

$$K = a + \frac{b\gamma_0}{1 - \varepsilon_1} = \frac{a + b\gamma_0 - a\varepsilon_1}{1 - \varepsilon_1} = \frac{K_0 - a\varepsilon_1}{1 - \varepsilon_1} \quad (2)$$

где $K_0 = a + b\gamma_0$ – начальное значение физико-механической характеристики натуральной древесины [1, 2, 20].

При использовании степени уплотнения по конечным размерам:

$$\varepsilon_2 = \frac{\gamma - \gamma_0}{\gamma} = \frac{\gamma}{\gamma_0} - 1,$$

$$\gamma = \gamma_0(\varepsilon_2 + 1),$$

$$K = a + b\gamma_0(\varepsilon_2 + 1) = K_0 + b\gamma_0\varepsilon_2 \quad (3)$$

Учитывая, что $b\gamma_0 = K_0 - a$, зависимость (3) можно представить:

$$K = K_0 + (K_0 - a) \cdot \varepsilon_2 \quad (3a)$$

Наконец, при использовании логарифмического показателя уплотнения:

$$\varepsilon_n = l_n \frac{\gamma}{\gamma_0},$$

$$\gamma = \gamma_0 l^{\varepsilon_n},$$

Зависимость физико-механических характеристик от логарифмического показателя уплотнения принимает вид:

$$K = a + b\gamma_0 l^{\varepsilon_n} = a + (K_0 - a) \cdot l^{\varepsilon_n} \quad (4)$$

где ε_n – логарифмический показатель уплотнения.

Таким образом, все функциональные зависимости характеристики от степени уплотнения находятся через коэффициенты основной зависимости от плотности (1), через коэффициенты линейной аппроксимации a и b [6-9, 16].

Определение этих коэффициентов производилось по экспериментальным данным методом наименьших квадратов. Вычислялись теоретические значения физико-механических параметров по найденным уравнениям, а также отклонения теоретических значений от результатов эксперимента [8, 9].

Было выявлено, что прирост характеристик [1, 6, 7, 20, 22] прочности при уплотнении увеличивается для пород с меньшим начальным удельным весом. Это объясняется тем, что при малом начальном удельном весе диапазон уплотнения до максимальной степени при $\gamma_{\max} = 1,54$ г/см³ соответственно возрастает. Таким образом, древесина с малым удельным весом, и прежде всего осина, является более благоприятным сырьем для уплотнения с точки зрения результата [1, 3, 6, 8, 14]. Кроме того, процесс уплотнения древесины с малой плотностью проще осуществим [7, 9, 16]. Для оценки сопоставимого прироста

абсолютных и относительных значений характеристик прочности и упругости может служить величина коэффициента регрессии «*b*» [2, 4, 5, 13, 14, 16, 17].

Заключение

По данным значения коэффициентов для различных пород и различных видов деформирования можно сделать следующие заключения [6, 8, 9, 14, 16]:

1. Наивысший рост прочности от уплотнения древесины имеет место при ее работе на статический изгиб.
2. Значительно возрастает прочность уплотненной древесины при сжатии ее вдоль волокон и поперек волокон в радиальном направлении.
3. Прочность уплотненной древесины при сжатии поперек волокон в тангентальном направлении растет значительно слабее (примерно в два раза), чем при сжатии вдоль волокон.
4. Лиственные породы обнаруживают значительно большие колебания прочности при уплотнении, чем хвойные породы.
5. Сравнительно медленнее при уплотнении возрастает прочность на скалывание и раскалывание.
6. Медленно возрастает при уплотнении сопротивляемость древесины ударному изгибу.

Библиографический список

1. Бирман А.Р. Анализ эксплуатационных параметров уплотненной древесины / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.9-12.
2. Бирман А.Р. Модификация древесины мягких лиственных пород методом глубокого уплотнения / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан // Научное обозрение. 2015. Вып. 17. 462 с. С. 90-94.
3. Бирман А.Р. Способ повышения производительности процесса склеивания деревянных щитов / Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Кривоногова А.С., Угрюмов С.А., Тамби А.А. // Клеи. Герметики. Технологии. 2021 №1 – М.: «Наука и технологии», 2021. – 46 с. С. 36-40.
4. Кривоногова А.С. Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 314-320.
5. Кривоногова А.С. Вопросы определения экономической эффективности применения прессованной древесины при производстве в современных социально-экономических условиях / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.35-39.
6. Кривоногова А.С. К вопросу о теоретическом обосновании закономерностей изменения прочностных характеристик от степени уплотнения древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Скворцов В.В., Осипов Ф.М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 278-284.
7. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – 427 с. С. 293-302.

8. Кривоногова А.С. Модификация древесины методом уплотнения с целью получения древесного угля с высокой сорбционной способностью / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С. 27-32.
9. Кривоногова А.С. Предпосылки к теоретическому обоснованию закономерностей изменения прочностных характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Марков В.А. Иванов Л.Д., Девяткин А.В. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 247-252.
10. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными качественными характеристиками в конструкциях садово-паркового строительства. Исторический ракурс / Кривоногова А.С. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 212-218.
11. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: исторический ракурс использования / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Беспалова В.В., Аннаев Г. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 354-363.
12. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
13. Кривоногова А.С. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в строительных конструкциях / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 269-278.
14. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.21.01) / Кривоногова Александра Станиславовна; СПбГЛТУ. – СПб., 2015. – 20 с.
15. Кривоногова А.С. Соппротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
16. Кривоногова А.С. Теоретическое обоснование зависимости изменения прочностных характеристик от коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 252-261.
17. Кривоногова А.С. Технология уплотнения древесины мягких лиственных пород в производстве древесного угля / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Марков В.А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 477-483.
18. Кривоногова А.С. Экономической эффективности применения прессованной древесины в производстве в контексте современных социально-экономических условий / Кривоногова А.С., Добрынин Ю.А., Соколова В.А., Нарметов Темур // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного

лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 261-269.

19. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
20. Сергеевичев В.В. Вопросы области применения модифицированной древесины методом глубокого уплотнения / Сергеевичев В.В., Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В. А. // Материалы второй международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 3. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с., с. 128-130.
21. Соколова В.А. Пути улучшения качества продукции на деревообрабатывающем предприятии / Соколова В.А., Кривоногова А.С., Иванов А.М., Марков В.А., Парфенопуло Г.К. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 50-55.
22. Эйвазов А.Ф. К вопросу о прочностных расчетах сооружений / Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынины Ю.А., Беспалова В.В., Диязетдинов Р.Р. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 346-354.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru

ФИО	Цветков Н.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	cvetkovv77@gmail.com

Аннотация

Рассмотрены некоторые результаты ранее полученных исследований и результаты предпосылок систематизация экспериментальных данных по изменению прочностных характеристик уплотненной древесины.

Ключевые слова: древесина, физико-механические характеристики, уплотнение древесины.

УДК 630*867.5.674.049.2:519.23.528.14

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.05; 66.43.31; 67.09.41

Вопросы систематизации теоретического обоснования взаимосвязи изменения качественных показателей коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины

Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Орлов П.Б.

Введение.

В данной статье представлены результаты, полученные на основании ранее представленных анализов и результатов предпосылок систематизации экспериментальных данных по изменению прочностных характеристик уплотненной древесины, приведенных в [1, 3, 6, 8, 9, 14, 16]. В которых ранее представленных исследованиях [2, 5, 7, 11, 17, 20] были изложены закономерностей изменения прочностных характеристик от степени уплотнения древесины, также проанализированы деформативные свойства древесины мягких лиственных пород [12, 15, 19], необходимых для разработки режимов уплотнения и определения их параметров [4, 10, 13, 18, 21, 22]. В данной статье рассмотрим значения коэффициентов качества от твердости и износа, их применение при максимально возможном уплотнении. Получим обоснования о целесообразности уплотнения древесины [5, 6, 8, 9].

Ввиду того, что в ранее представленных материалах было доказано, что абсолютные и относительные интервалы изменения физико-механических характеристик, т.е. величины:

$$\Delta K = K_{\max} - K_0 \quad \text{и} \quad \frac{\Delta K}{K_0} = \frac{K_{\max} - K_0}{K} \quad (1)$$

Это доказало что прирост характеристик прочности при уплотнении увеличивается для пород с меньшей начальной плотностью [1, 3, 20]. Это объясняется тем, что при малой начальной плотности диапазон уплотнения до максимальной степени при $\gamma_{\max} = 1,54$ г/см³ соответственно возрастает. Таким образом, древесина с малой плотностью, и прежде всего осина, является более благоприятным сырьем для уплотнения с точки зрения результата [6, 8, 16]. В этом случае нам необходимо рассмотреть зависимости характеристик износа и твердости от плотности и степени уплотнения древесины [1, 2, 7, 9, 14, 20].

Для уплотненной древесины, в том числе исследуемой древесины осины, наиболее значимыми являются характеристики ударной твердости и износостойкости [3, 5, 11, 13]. Характеристики износа и твердости от плотности уплотненной древесины в функции от плотности (или объемного веса) аппроксимируются полиномом второй степени

$$K = a + b\gamma + c\gamma^2 \quad \text{или} \quad K = K_0 e^{h(\gamma - \gamma_0)} \quad (2)$$

Принимая в качестве исходных основных зависимостей (2) или (3), нельзя без тщательного анализа сразу же отбрасывать возможность аппроксимации характеристик твердости и износа линейной функции [7, 9]. Последняя всегда дает более простые производные зависимости, и поэтому она намного удобнее. Окончательное суждение о возможности или невозможности использования линейной аппроксимации можно сделать только после выяснения степени их согласованности с экспериментальными данными [1, 6, 8, 16, 20]. Поэтому, при определении аналитических взаимосвязей характеристик износа и ударной твердости по уравнениям (2) и (3), а ранее выполнялась аппроксимация по линейной функции, представленной в предыдущем изложении [1, 6, 9, 16].

Установим вид зависимостей (2) и (3) при выражении их в функции от степеней уплотнения по начальным и конечным размерам ε_1 и ε_2 , а также через логарифмический показатель уплотнения ε_n [1, 7, 9, 16]. Подставим значения γ , выраженные через показатели уплотнения [9, 14, 16], в функцию (2). Получим соответственно зависимости характеристики от ε_1 , ε_2 и ε_n .

$$K = a + \frac{b\gamma_0}{1 - \varepsilon_1} + \frac{c\gamma_0^2}{(1 - \varepsilon_1)^2} = \frac{(a + b\gamma_0 + c\gamma_0^2) - (b\gamma_0 + 2a)\varepsilon_1 + a\varepsilon_1^2}{(1 - \varepsilon_1)^2} = \frac{K_0 - b_1\varepsilon_1 + a\varepsilon_1^2}{(1 - \varepsilon_1)^2} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} K &= a + b\gamma_0(+\varepsilon_2) + c\gamma_0^2(I - \varepsilon_2^2) = a + b\gamma_0 + c\gamma_0^2 + (b\gamma_0 - c)\varepsilon_2 + c\gamma_0^2\varepsilon_2^2 = \\ &= K_0 + b_2\varepsilon_1 + c\gamma_0^2\varepsilon_2^2 \end{aligned} \quad (5)$$

$$K = a + b\gamma_0 e^{\varepsilon_n} + c\gamma_0^2 e^{2\varepsilon_n} \quad (6)$$

$$K_0 = a + b\gamma_0 + c\gamma_0^2 \quad (7)$$

где $B_1 = b\gamma_0 + 2a$, $B_2 = b\gamma_0 - 2c$ [1, 8, 9, 11-14].

Подставляя значения γ , выраженные через показатели уплотнения в функцию (3), получим уравнения экспоненты в функции от ε_1 , ε_2 и ε_n , соответственно [6, 7, 9, 16]

$$K = K_0 e^{\frac{h\gamma_0 \varepsilon_n}{1 - \varepsilon_1}} \quad (8)$$

$$K = K_0 e^{h\gamma_0 \varepsilon_n} \quad (9)$$

$$K = K_0 e^{h\gamma_0 (e^{\varepsilon_n} - 1)} \quad (10)$$

Таким образом, коэффициенты исходных зависимостей (2) или (3) a , b , c или K_0 и h полностью определяют все прочие производные зависимости физико-механических характеристик износа и ударной твердости [1, 6, 7, 9, 16]. Относительно характеристик статической твердости сохраняют справедливость рассуждения, приведенные в предыдущем разделе [6, 8, 16]. Значения коэффициентов основных зависимостей характеристик твердости и износа подсчитаны по вышеизложенной методике.

По данным характеристик рассматриваемых параметров обнаруживается, что прирост характеристик тем больше, чем больше начальная плотность [1, 2, 5, 7, 14]. Следовательно, для получения максимальных характеристик твердости следует в качестве исходного сырья брать древесину с максимальной плотностью.

Заключение

По данным значения коэффициентов регрессии для линейных зависимостей исследуемых характеристик твердости и износа можно сделать следующие выводы [1, 6, 7, 9, 16]:

- Наивысший рост при уплотнении древесины обнаруживают характеристики твердости.
- Несколько менее интенсивно растут абсолютные значения характеристик ударной твердости.
- Износ при уплотнении во всех случаях обнаруживает существенное падение. Сильнее всего уменьшается износ при уплотнении осины.

Проведем оценку полученных результатов. Числовой величиной, выражающей полноту линейной зависимости между двумя признаками, является коэффициент корреляции r . Его величина колеблется от -1 до $+1$. При $r = 1$ имеет место функциональная связь между изучаемыми признаками [6, 9,

16]. Коэффициент корреляции, равный нулю, указывает на отсутствие связи или на то, что она имеет криволинейный характер [6, 7, 9].

Библиографический список

1. Бирман А.Р. Анализ эксплуатационных параметров уплотненной древесины / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.9-12.
2. Бирман А.Р. Модификация древесины мягких лиственных пород методом глубокого уплотнения / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан // Научное обозрение. 2015. Вып. 17. 462 с. С. 90-94.
3. Бирман А.Р. Способ повышения производительности процесса склеивания деревянных щитов / Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Кривоногова А.С., Угрюмов С.А., Тамби А.А. // Клеи. Герметики. Технологии. 2021 №1 – М.: «Наука и технологии», 2021. – 46 с. С. 36-40.
4. Кривоногова А.С. Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 314-320.
5. Кривоногова А.С. Вопросы определения экономической эффективности применения прессованной древесины при производстве в современных социально-экономических условиях / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.35-39.
6. Кривоногова А.С. К вопросу о теоретическом обосновании закономерностей изменения прочностных характеристик от степени уплотнения древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Скворцов В.В., Осипов Ф.М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 278-284.
7. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – 427 с. С. 293-302.
8. Кривоногова А.С. Модификация древесины методом уплотнения с целью получения древесного угля с высокой сорбционной способностью / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С. 27-32.
9. Кривоногова А.С. Предпосылки к теоретическому обоснованию закономерностей изменения прочностных характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Марков В.А. Иванов Л.Д., Девяткин А.В. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 247-252.
10. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными качественными характеристиками в конструкциях садово-паркового строительства. Исторический ракурс / Кривоногова А.С. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 212-218.
11. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: исторический ракурс использования / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Беспалова В.В., Аннаев Г. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 354-363.

12. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
13. Кривоногова А.С. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в строительных конструкциях / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 269-278.
14. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.21.01) / Кривоногова Александра Станиславовна; СПбГЛТУ. – СПб., 2015. – 20 с.
15. Кривоногова А.С. Соппротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
16. Кривоногова А.С. Теоретическое обоснование зависимости изменения прочностных характеристик от коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 252-261.
17. Кривоногова А.С. Технология уплотнения древесины мягких лиственных пород в производстве древесного угля / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Марков В.А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 477-483.
18. Кривоногова А.С. Экономической эффективности применения прессованной древесины в производстве в контексте современных социально-экономических условий / Кривоногова А.С., Добрынин Ю.А., Соколова В.А., Нарметов Темур // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 261-269.
19. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
20. Сергеевичев В.В. Вопросы области применения модифицированной древесины методом глубокого уплотнения / Сергеевичев В.В., Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. // Материалы второй международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 3. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с., с. 128-130.
21. Соколова В.А. Пути улучшения качества продукции на деревообрабатывающем предприятии / Соколова В.А., Кривоногова А.С., Иванов А.М., Марков В.А., Парфенопуло Г.К. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 50-55.
22. Эйвазов А.Ф. К вопросу о прочностных расчетах сооружений / Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынины Ю.А., Беспалова В.В., Диязетдинов Р.Р. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 346-354.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Орлов П.Б.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	pavel-orlov-00@bk.ru

Аннотация

Установление деформативных свойств древесины мягких лиственных пород, необходимых для разработки режимов уплотнения и определения их параметров. Определение возможности полноценной замены ценных пород дерева и других дефицитных и дорогостоящих материалов уплотненной древесины.

Ключевые слова: древесина, физико-механические характеристики, уплотнение древесины.

УДК 630*867.5.674.049.2:519.23.528.14

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.05; 66.43.31; 67.09.41

К вопросу об экономической целесообразности использования модифицированной древесины уплотнением в производстве в современных социально-экономической ситуации

Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Раевский А.Ю.

Введение.

Рассмотрев современное состояние в лесопромышленном производстве в ранее проведенных исследованиях, представленных в [1, 3, 5, 8, 14, 18, 20, 22], можно отметить высокую экономическую эффективность применения прессованной древесины, хотя производственные мощности по ее выпуску увеличиваются незначительно [2, 4, 6, 9, 11, 13, 16, 21].

Опыт широкого производства этого вида продукции в ранние годы прошлого столетия, казалось бы, открывал большие перспективы применения прессованной древесины [1, 10, 12, 15, 17, 19]. Однако общая тенденция к снижению использования результатов научных разработок в период 1970-1990 гг. и развал экономики в конце XX века привели к такому положению [1, 14, 18], при котором многие наукоемкие технологии, к которым относится и технология производства прессованной древесины, оказались почти неиспользованными на практике [2, 5, 11, 13, 14, 18, 20].

На немногих еще действующих предприятиях детали из прессованной древесины, в большинстве случаев выпускаются на неспециализированном оборудовании полукустарными методами, что приводит к нерациональному использованию сырья (выход деталей из первоначальной кубатуры сырья не превышает 15-25 %) [14, 18]. Участки по прессованию древесины не располагают необходимым количеством квалифицированных кадров. Все это объясняет относительно высокую себестоимости изделий из прессованной древесины. Тем не менее, произведенные расчеты [2, 5, 11] со всей очевидностью показывают, что затраты на изготовление деталей из прессованной древесины по сравнению с другими деталями, выполненными из чугуна или бронзы, в несколько раз меньше, а срок службы деталей из ПД в узлах трения машин и механизмов, как правило, превышает в несколько раз срок эксплуатации деталей, изготовленных из металлов [10, 13, 18].

Что касается ресурсов древесины для производства прессованной древесины, то это не является сдерживающим фактором [2, 4, 6, 14, 18]. При

производстве этой продукции должны быть в первую очередь максимально использованы отходы древесины, получаемые на лесопильно-деревообрабатывающих предприятиях и от разделки древесины на сортименты на нижних складах леспромхозов [3, 5, 9, 14, 18, 20]

Исследования, проведенные целым рядом научных организаций и, в частности, СПбГЛТУ [1, 3, 14, 18] создали условия широкого применения прессованной древесины при изготовлении деталей машин [14, 18].

Практика применения прессованной древесины на десятках предприятий подтверждает [1, 5, 11, 13, 20], что она является не только прекрасным заменителем цветных и черных металлов. Но в отдельных случаях обладает значительными преимуществами перед ними [1, 3, 14, 18, 20].

Одним из главных факторов экономической эффективности применения прессованной древесины как материала для деталей машин является ее низкая стоимость в сравнении с заменяемыми материалами [1, 4, 7, 10, 13, 14, 18]. Стоимость прессованной древесины, как материала для деталей изготовления деталей машин, меньше по сравнению с чугуном в 3 раза, со сталью – в 5 раз, бронзой – в 20 раз, с текстолитом – в 14 раз, с древесно-слоистыми пластиками – в 2,5 раза [1, 14, 20].

Детали из прессованной древесины в 6,5 раза легче чугуна, в 7 раз легче бронзы, в 2,7 раза легче алюминия, а также несколько легче текстолита и древесно-слоистых пластиков [2, 5, 11, 13, 18]. Изготовление подшипников из прессованной древесины в среднем обходится в 8 раз дешевле, чем из бронзы, и в 1,5-2 раза чем из чугуна [2, 4, 10, 18].

Заключение

Основными показателями экономической эффективности применения прессованной древесины в промышленности являются:

1. Количество черных (цветных) металлов или других материалов, высвобождаемое в результате замены металлических деталей деталями из прессованной древесины.
2. Количество единиц оборудования, высвобождаемое в результате применения деталей из прессованной древесины.
3. Количество высвобождаемой рабочей силы (по профессиям и разрядам). Экономия численности рабочих по разрядам и профессиям может быть установлена как разность между количеством рабочих для выполнения программы выпуска металлических деталей из прессованной древесины.
4. Себестоимость годового выпуска металлических и заменяющих их деталей из прессованной древесины.
5. Сумма годовой экономии. Этот показатель определяется как разность между себестоимостью годового производства металлических деталей и заменяющих их деталей из прессованной древесины.

6. Дополнительное количество продукции, которое может быть выпущено за счет экономии металла, высвобождения оборудования и рабочей силы, в результате применения прессованной древесины [1, 7, 14, 18, 20].

Главным показателем экономической эффективности является срок окупаемости капитальных затрат ($T_{ок}$) или обратный показатель – коэффициент эффективности (E), определяемые по формулам:

$$T_{ок} = \frac{K_1 - K_2}{C_2 - C_1} \text{ или } \frac{C_2 - C_1}{K_1 - K_2} = \frac{1}{T_{ок}} = E, \quad (1)$$

где K_1 и K_2 – капитальные вложения по сравнительным вариантам; C_1 и C_2 – годовая себестоимость продукции по этим же вариантам; $T_{ок}$ – срок окупаемости дополнительных капитальных вложений; E – коэффициент сравнительной эффективности [2, 7, 10, 14, 19]. [5, 9, 14].

Годовой экономический эффект от внедрения новой техники, технологии производства можно определить по следующей формуле:

$$\Delta = [(C_1 + E_n K_1) - (C_2 + E_n K_2)] \cdot B_2, \quad (2)$$

где C_1 и C_2 – себестоимость единицы продукции или затраты на производство единицы работы до и после внедрения мероприятия [21, 2, 14, 18]. руб.; K_1 и K_2 – удельные капитальные вложения на единицу продукции; B_2 – годовой объем производимой продукции после начала внедрения мероприятия; E_n – нормативный отраслевой коэффициент экономической эффективности (величина обратная нормативному сроку окупаемости) [11, 4, 5, 11, 13, 14, 18, 21].

Для лесной и лесоперерабатывающей промышленности можно принять допустимые сроки окупаемости 5 лет [91, 5, 11, 17, 18] (коэффициент эффективности 0,2), а для машиностроения – $T_{ок} \approx 3-5$ лет и, соответственно, $E = 0,33-0,2$.

Библиографический список

1. Бирман А.Р. Анализ эксплуатационных параметров уплотненной древесины / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.9-12.
2. Бирман А.Р. Модификация древесины мягких лиственных пород методом глубокого уплотнения / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан // Научное обозрение. 2015. Вып. 17. 462 с. С. 90-94.
3. Бирман А.Р. Способ повышения производительности процесса склеивания деревянных щитов / Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Кривоногова А.С., Угрюмов С.А., Тамби А.А. // Клеи. Герметики. Технологии. 2021 №1 – М.: «Наука и технологии», 2021. – 46 с. С. 36-40.
4. Кривоногова А.С. Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 314-320.

5. Кривоногова А.С. Вопросы определения экономической эффективности применения прессованной древесины при производстве в современных социально-экономических условиях / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.35-39.
6. Кривоногова А.С. К вопросу о теоретическом обосновании закономерностей изменения прочностных характеристик от степени уплотнения древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Скворцов В.В., Осипов Ф.М. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 278-284.
7. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – 427 с. С. 293-302.
8. Кривоногова А.С. Модификация древесины методом уплотнения с целью получения древесного угля с высокой сорбционной способностью / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С. 27-32.
9. Кривоногова А.С. Предпосылки к теоретическому обоснованию закономерностей изменения прочностных характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Марков В.А. Иванов Л.Д., Десяткин А.В. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 247-252.
10. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными качественными характеристиками в конструкциях садово-паркового строительства. Исторический ракурс / Кривоногова А.С. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 212-218.
11. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: исторический ракурс использования / Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Беспалова В.В., Аннаев Г. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 354-363.
12. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
13. Кривоногова А.С. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в строительных конструкциях / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 269-278.
14. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.21.01) / Кривоногова Александра Станиславовна; СПбГЛТУ. – СПб., 2015. – 20 с.
15. Кривоногова А.С. Сопротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
16. Кривоногова А.С. Теоретическое обоснование зависимости изменения прочностных характеристик от коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного

- лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 252-261.
17. Кривоногова А.С. Технология уплотнения древесины мягких лиственных пород в производстве древесного угля / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Марков В.А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 477-483.
 18. Кривоногова А.С. Экономической эффективности применения прессованной древесины в производстве в контексте современных социально-экономических условий / Кривоногова А.С., Добрынин Ю.А., Соколова В.А., Нарметов Темур // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 261-269.
 19. Механика. Справочные материалы: методические указания по выполнению расчетных работ для подготовки бакалавров всех форм обучения / сост.: А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 56 с.
 20. Сергеевичев В.В. Вопросы области применения модифицированной древесины методом глубокого уплотнения / Сергеевичев В.В., Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В. А. // Материалы второй международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 3. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с., с. 128-130.
 21. Соколова В.А. Пути улучшения качества продукции на деревообрабатывающем предприятии / Соколова В.А., Кривоногова А.С., Иванов А.М., Марков В.А., Парфенопуло Г.К. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 50-55.
 22. Эйвазов А.Ф. К вопросу о прочностных расчетах сооружений / Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынины Ю.А., Беспалова В.В., Дязетдинов Р.Р. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 346-354.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru

ФИО Пушков Ю.Л.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5633-1797
e-mail pushkov_yura@mail.ru

ФИО Раевский А.Ю.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail alex-raevske@mail.ru

Аннотация

Представлены результаты анализа экономической эффективности производства древесного угля из прессованной древесины по расчетным данным, проведенного исследования.

Ключевые слова: древесина, уплотнение древесины, древесный уголь, экономическая эффективность.

УДК 630*674.049

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.05; 66.43.31

К вопросу о термохимической переработки в технологии древесноугольного производства

Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Ломакина Я.Р.

Введение.

В ранее проведенных исследованиях [1, 3, 4, 7, 9, 16, 18] было отмечено, что в лесопромышленном комплексе задачи глубокой переработки низкосортной лиственной древесины является особо актуальным [2, 5, 6, 10, 12, 15, 19]. Один из возможных вариантов ее решения является термохимическая переработка. Основной продукт этой переработки – древесный уголь [9, 12, 13, 18], который может служить основой для получения таких уникальных по своим свойствам нанопористых продуктов как углеродные монообменники, активированный уголь, эффективные сорбенты и т.п. продукция [8, 11, 14, 17].

В настоящее время исследование древесины и древесных материалов – крупный самостоятельный раздел науки [1, 9, 12, 13, 18].

7...10%, что происходит за счет исчезновения крупных пор и трещин при измельчении угля. Это положение является важным для настоящей работы, так как она связана с анализом сорбционной способности кускового активированного угля и возможностью его регенерации, практически неосуществимой при использовании порошкообразных сорбентов [9, 12, 13, 16, 18].

Для получения сорбентов на базе окисленных углей необходимо ввести жидкий окислитель (в данном исследуемом варианте) в поровое пространство угля-сырца методом пропитки [3, 6, 14].

Использование чисто капиллярного давления без давления внешнего по нашему мнению технологически затруднено при производстве окисленных углей. Особенно порошкообразной фракции значительного объема и применении окислителей, например, пероксида. Полная сквозная пропитка в этом случае является длительным не технологичным процессом без фиксированных временных границ [3, 4, 6].

Диффузионная пропитка технически осуществляется кратковременным или длительным погружением КПС в ванны с последующей выдержкой. Диффузия в чистом виде определяется законом Фика [2, 3, 6, 9, 18].

$$i = D \cdot \frac{dk}{dx}, \quad (1)$$

где i – плотность потока диффундирующих молекул; D – коэффициент диффузии; k – концентрация вещества в растворе; x – длина пути направления диффузии.

Как и капиллярная, полная диффузионная пропитка не имеет фиксированных временных границ, но, при наличии достаточного экспериментального опыта и накоплении предприятием надежных статистических данных, может быть использована для сквозной равномерной пропитки [3].

Пропитка центробежным способом основывается на взаимодействии находящихся в поле центробежных сил пропитывающей жидкости и капиллярно-пористой структуры, например, древесины или древесного угля. При использовании центробежного способа значительно сокращается продолжительность пропитки [4, 9]. Эффективность данного способа обусловлена тем, что удаление влаги происходит за счет градиента давления, возникающего в материале, помещенном в центробежном поле. Это же положение относится к процессу пропитки [3, 17].

Параметром, определяющим процесс пропитки, принято считать линейную скорость торца материала, или параметр пропитки h :

$$h = \omega^2 \cdot R^2 \quad (2)$$

где ω – частота вращения; R – радиус дальнего торца материала [4].

Результаты и обсуждение исследований. Степень обезвоживания зависит от структуры, параметра обезвоживания, начального состояния древесины. Например, ядровая часть хвойной древесины вследствие перекрытия пор в стенках трахеид обезвоживается заметно хуже (на 30...40%) заболонной части [5].

При высокой эффективности сушки древесины центробежным способом очевидна привлекательность применения этого метода для пропитки древесины (замещение пропитывающим составом свободных воздуха или влаги, находящихся в древесине) [9, 18].

Интенсификация процессов пропитки за счет центробежной нагрузки изучены в основном для древесины, а для древесного угля в этой области проведено недостаточно исследований. Кроме этого, отрасль пока не оснащена в достаточной степени оборудованием, создающим поле центробежных сил (центрифугами, барабанами и т.д.). Поэтому необходимы дальнейшие исследования в направлении математического моделирования как процессов уплотнения древесины, используемой для пиролиза, так и процессов пропитки древесного угля водорастворимыми веществами [2, 3, 5, 6, 9, 12, 13, 16, 18].

Заключение

Наиболее широкое применение получили три способа пропитки под давлением. По терминологии Сенежской лаборатории консервирования древесины – это способ ВДВ (вакуум – давление – вакуум), ДДВ (давление воздушное – давление жидкостное – вакуум) и ДВ (давление – вакуум).

Другие способы пропитки, например, за счет возбуждения в жидкости ультразвукового поля или за счет электрогидравлического эффекта в настоящее время не получили широкого применения из-за их низкой производительности, высокой энергоемкости и сложной реализации.

Библиографический список

1. Бирман А.Р. Анализ эксплуатационных параметров уплотненной древесины / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.9-12.
2. Бирман А.Р. Борирование древесины пропиткой с целью повышения ее нейтронозащитных свойств / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 208. – СПб: ИПО СПбГЛТУ, 2014. – С. 130-137.
3. Бирман А.Р. Критический анализ использования способов пропитки с целью повышения качественных характеристик древесного сырья / Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Кривоногова А.С., Тоан Нгуен Ван // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2016. – С. 58-60.
4. Бирман А.Р. Модификация древесины мягких лиственных пород методом глубокого уплотнения / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан // Научное обозрение. 2015. Вып. 17. 462 с. С. 90-94.

5. Бирман А.Р. Определение коэффициента фильтрации и параметров процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А. // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – С. 238-243.
6. Бирман А.Р. Пропитка древесины гидростатическим способом / Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сборник науч. труд. по материал. заоч. НПК, 2014 г. №5 ч. 4 (10-4). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – С. 33-38.
7. Бирман А.Р. Способ повышения производительности процесса склеивания деревянных щитов / Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Кривоногова А.С., Угрюмов С.А., Тамби А.А. // Клеи. Герметики. Технологии. 2021 №1 – М.: «Наука и технологии», 2021. – 46 с. С. 36-40.
8. Бирман А.Р. Технологическое устройство для пропитки капиллярно-пористых тел / Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Т. Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2017. – С. 99-101.
9. Кривоногова А.С. Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 314-320.
10. Кривоногова А.С. Вопросы определения экономической эффективности применения прессованной древесины при производстве в современных социально-экономических условиях / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.35-39.
11. Кривоногова А.С. Математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами пероксида / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – С. 251-256.
12. Кривоногова А.С. Моделирование процесса пропитки капиллярно-пористых структур в производстве древесно-угольных сорбентов / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан, Белоногова Н.А. // *Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – С. 204-205.*
13. Кривоногова А.С. Модификация древесины методом уплотнения с целью получения древесного угля с высокой сорбционной способностью / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С. 27-32.
14. Кривоногова А.С. Предпосылки к теоретическому обоснованию закономерностей изменения прочностных характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Марков В.А. Иванов Л.Д., Девяткин А.В. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 247-252.
15. Кривоногова А.С. Пропитка капиллярно-пористых структур встречно-центробежным способом / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник трудов по материалам международной заочной НПК, 2015. - № 2, ч.1 (13-1). Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2015. – С. 236-240.
16. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.21.01) / Кривоногова Александра Станиславовна; СПбГЛТУ. – СПб., 2015. – 20 с.
17. Кривоногова А.С. Теоретическое обоснование зависимости изменения прочностных характеристик от коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины / Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного

лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 252-261.

18. Кривоногова А.С. Технология уплотнения древесины мягких лиственных пород в производстве древесного угля / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Марков В.А. // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 477-483.
19. Кривоногова А.С. Экономической эффективности применения пресованной древесины в производстве в контексте современных социально-экономических условий / Кривоногова А.С., Добрынин Ю.А., Соколова В.А., Нарметов Темур // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 261-269.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Ломакина Я.Р.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код —
e-mail yanalomakinaa@gmail.com

Аннотация

Произведен анализ явлений, происходящих в древесине в процессе ее модификации и выявлено влияние определяющих факторов процесса на свойства конечного продукта. Проведен критический анализ способов пропитки древесины. Получены опытные результаты, характеризующие недостатки некоторых методов пропитки, также малопроизводительные методы пропитки древесины.

Ключевые слова: древесина, капиллярно-пористые структуры, пропитка в поле центробежных сил.

УДК 630*841.21:544.022.537

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99; 66.03.03

Научное издание

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ИТОГАМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ 2020 года

Материалы научно-технической конференции