

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 2021 года

17 июня 2022 г.



Санкт-Петербург

2022

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

Е.Г. Хитров, доктор технических наук, ответственный редактор
Ю.И. Беленький, доктор технических наук, доцент, редактор
С.В. Спиридонов, кандидат технических наук, доцент, 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
И.В. Бачериков, кандидат технических наук, 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 2021 [Электронный ресурс] / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2022. – 528 с. Режим доступа: свободный. URL: <http://spbftu.ru>

Proceedings of annual conference of the Institute of Technological machines and forest transportation 2021 / ed. E. Khitrov. St. Petersburg: SPbFTU, 2022. – 528 p.

В сборнике представлены материалы докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ 2021 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, 2022

Содержание

Содержание	3
1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	8
<i>Швыдкий И.П., Тюрин Н.А.</i> Оценка влияния транспортной инфраструктуры на борьбу с лесными пожарами	8
<i>Мотовилов Г.К., Тюрин Н.А.</i> Методика обоснования инфраструктуры пеллетного производства по критерию минимума грузовой работы доставки сырья	12
<i>Вернер Н.Н.</i> Перспективы подготовки специалистов в области природопользования в лесотехнических вузах	18
<i>Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Платонов Е.В.</i> Взаимосвязь климатических изменений и роста площадей лесных пожаров	20
<i>Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Платонов Е.В., Еришова Н.Г.</i> Особенности технологии проведения заготовки древесины в Республике Саха (Якутия)	28
<i>Зверев И.А., Тарадин Г.С., Тюрина М.С.</i> Применение и роль тренажера «Ponsse Full Simulator» в сфере подготовки специалистов лесопромышленного комплекса	33
<i>Артемьев В.В., Никифоров И.В.</i> Методы весового контроля грузов на дорогах	38
<i>Артемьев В.В., Филиппов Р.В.</i> Методы укрепления грунтовых дорог с применением цементных составов	41
<i>Зубова О.В., Павлов И.А.</i> Использование пластиковых дорожных плит для зимней лесовозной дороги	47
<i>Зубова О.В., Новиков Д.Е., Мартынюк А.С.</i> Особенности перехода лесозаготовительной отрасли на ФГИС ЛК	50
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Дубровин Д.Е., Михайлов О.А.</i> Экологическая безопасность лесных машин и методы их обеспечения	55
<i>Тукк Д.П., Калистратов А.В.</i> Современные методы очистки воды в акватории рейдов приплава .	60
<i>Чистякова К.А., Калистратов А.В.</i> Актуальность возобновления молевого лесосплава	64
<i>Акулов М., Антонова Т.С.</i> Влияние погодных условий на логистические перевозки	67
<i>Платынюк К., Антонова Т.С.</i> Организация работы складской логистики на предприятии	71
2. ЛЕСОСЕЧНЫЕ РАБОТЫ	75
<i>Ларин С.М., Тюрин Н.А.</i> Календарное планирование транспортного освоения лесосек годового лесосечного фонда лесозаготовительного предприятия	75
<i>Россихин К.В., Свойкин Ф.В., Угрюмов С.А.</i> Усовершенствование первичной вывозки древесины методом замены техники на зарубежных комплектующих на отечественную	80
<i>Беленький Ю.И., Свойкин Ф.В., Ли Мэнди, Ли Хуэйлю, Цзя Юэдивень</i> Системный анализ технико-экономической эффективности производства сортиментов на базе ВСРМ	85
<i>Беленький Ю.И., Свойкин Ф.В., Ли Мэнди, Ли Хуэйлю, Цзя Юэдивень</i> Системный анализ технико-экономической эффективности производства сортиментов на базе ручного моторного инструмента	89
<i>Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Андреев С.В.</i> Особенности взаимодействия трелевочного трактора с волоком	94
<i>Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Волков А.Ф.</i> Обобщенный закон распределения параметров, определяющих свойства трелевочного волока	98
<i>Тарадин Г.С., Андронов А.В., Михайлов О.А., Давидов А.В.</i> Математические модели образования колеи, сопротивления перемещению и сцепления колесного движителя лесосечных машин на снегу	104
<i>Тарадин Г.С., Андронов А.В., Михайлов О.А., Давидов А.В.</i> Расчет фактического давления на заснеженную поверхность и учет цикличности приложения нагрузки лесосечных машин	109
<i>Тарадин Г.С., Михайлов О.А., Давидов А.В.</i> Результаты реализации математических моделей колесного движителя на заснеженной лесосеке	114

	<i>Тарадин Г.С., Михайлов О.А., Давидов А.В.</i> Теоретические основы сжатия снега под воздействием колесного движителя	120
	<i>Зверев И.А., Михайлов О.А., Захаров В.А.</i> Перспективы и возможности эксплуатации валочно-пакетирующих машин на крутых склонах.....	126
	<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Сапаров А.В.</i> Основные факторы, влияющие на расход топлива при эксплуатации машин в условиях лесозаготовок	130
	<i>Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Спиридонов С.В., Москвина З.А., Михайлов О.А.</i> Выбор параметров многооперационных лесозаготовительных машин с учетом экологических требований	136
	<i>Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Забродин В.Д.</i> Особенности упрощенной динамической системы «двигатель – трансмиссия - трактор-пачка древесины» гусеничных трелевочных тракторов.....	140
	<i>Чураков А.В., Кривоногова А.С. Пушков Ю.Л., Клечков И.С.</i> Оценка эксплуатационной нагруженности колесных лесопромышленных тракторов	145
3.	ТЕПЛОТЕХНИКА, ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	150
	<i>Иванов М.М., Иванов Н.М.</i> Современное состояние топливно-энергетического комплекса.....	150
	<i>Снежков В.А., Иванова И.В.</i> Актуальные проблемы ресурсосбережения в многоквартирных жилых домах РФ	153
	<i>Иванов М.М., Павловцев А.В.</i> Анализ воздействия продуктов сгорания топлив на окружающую среду	158
	<i>Павловцев А.В., Иванова И.В.</i> Применение погодного регулирования АИТП как рационализация потребления ресурсов	163
	<i>Зотов А.Д., Иванова И.В.</i> Рациональное использование энергоресурсов в жилом секторе	166
	<i>Иванова И.В.</i> Биотопливо как альтернатива источникам энергии	171
	<i>Иванов М.М., Снежков В.А.</i> Перспективы развития теплоэнергетики на современном этапе.....	176
	<i>Егоров М.Ю.</i> Передача теплоты в промежуточных сепараторах-пароперегревателях	180
	<i>Егоров М.Ю.</i> Теплонасосные установки для теплоснабжения жилых помещений	184
	<i>Федяев Ал.А.</i> Контроль вредных выбросов при работе котельных и ТЭС	189
	<i>Федяев Ал.А.</i> Повышение энергетической эффективности электродных водогрейных котлов	192
	<i>Иванова И.В.</i> Основные теплотехнические измерения для безопасной и эффективной работы теплогенератора.....	195
	<i>Иванов М.М., Иванов Н.М.</i> Результаты оценочных расчетов теплогенератора длительного горения	200
	<i>Иванова И.В., Иванов Н.М.</i> Интенсификация процессов газификации	204
	<i>Иванова И.В., Иванов Н.М.</i> Анализ стадий газификации древесной биомассы.....	212
	<i>Иванов Н.М., Спиридонов С.В., Иванова И.В.</i> К вопросу об использовании газогенератора для промышленного производства тепловой энергии.....	216
	<i>Иванов Н.М., Спиридонов С.В., Иванова И.В.</i> Современные подходы при конструировании бытового газогенератора	221
	<i>Иванов М.М., Иванов Н.М.</i> Обобщенные результаты по исследованиям транспортных газогенераторов	227
	<i>Иванов Н.М., Спиридонов С.В., Иванова И.В.</i> Водородный газовый генератор для лесопромышленного комплекса.....	233
	<i>Федяев Ал.А., Федяева В.Н.</i> Направления ресурсосбережения в конвективных камерных сушильных установках	241
	<i>Федяев Ал.А., Федяев Ар.А., Федяева В.Н., Дедерер М.А.</i> Расчетные исследования влияния внешних факторов в каналах сушильных установок	245
	<i>Федяев Ал.А.</i> Использование ВЭР для термообработки материалов неправильной формы.....	249
	<i>Федяев Ал.А., Федяев Ар.А., Дедерер М.А.</i> Экспериментальные исследования аэродинамической обстановки в рабочей камере при сушке пиломатериалов.....	254
	<i>Федяев Ал.А., Федяева В.Н.</i> Модернизация системы охлаждения пивоваренного завода	258

4. МАШИНОСТРОЕНИЕ	262
<i>Мартынов Б.Г., Тарабан М.В., Мурашкин А.А.</i> Учет погрешностей при техническом диагностировании машин.....	262
<i>Мартынов Б.Г., Тарабан М.В., Ачинова М.А.</i> К вопросу выбора параметров при диагностировании машин	265
<i>Мартынов Б.Г., Тарабан М.В., Давыденко С.В.</i> Применение математических моделей для решения задач технического диагностирования машин	268
<i>Андронов А.В., Мартынов Б.Г., Спиридонов С.В., Тарабан М.В.</i> Актуальные вопросы лесного машиностроения.....	271
<i>Марков В.А., Иванов А.М.</i> Перспективы применения аддитивных технологий в лесном машиностроении.....	277
<i>Зверев И.А., Андронов А.В., Тихомиров О.С.</i> Анализ строительных сталей для изготовления манипуляторов лесных машин.....	280
<i>Зверев И.А., Трофимов А.В., Волков А.Ф.</i> Применение чугунов в области проектирования лесных машин	284
<i>Зверев И.А., Трофимов А.В., Волков А.Ф.</i> Применение и роль стекла как конструкционного материала в лесном машиностроении	289
<i>Тарадин Г.С., Зверев И.А., Тюрина М.С.</i> Общие вопросы применения математического моделирования в лесном машиностроении	293
<i>Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Рачков И.Д.</i> Основные направления повышения показателей технического уровня тракторов и автомобилей.....	298
<i>Мартынов Б.Г., Тарабан М.В., Мозиков М.Д.</i> К вопросу управления проактивной системой технического обслуживания в современных условиях.....	303
<i>Михайлов О.А., Тарадин Г.С.</i> Методика определения оптимального передаточного ряда трансмиссии колесных лесосечных машин	307
<i>Андронов А.В., Зверев И.А., Тихомиров О.С.</i> Обзор и анализ типовой кинематической схемы трансмиссии колесных узкозахватных валочно-пакетирующих машин фронтального типа.....	313
<i>Кретинин В.И., Теплов А.В., Соловьева А.Д.</i> Математическая модель долговечности рабочих органов лесохозяйственных машин.....	317
<i>Михайлов О.А., Зверев И.А.</i> Методика расчета балки переднего моста харвестера.....	321
<i>Пенкин А.Н., Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Дедерер М.А., Торочков Д.А.</i> Расчет долговечности сварных соединений при малоцикловой усталости	325
<i>Пенкин А.Н., Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Дедерер М.А., Торочков Д.А.</i> Исследование механизма усталостного разрушения малоуглеродистой стали	329
<i>Кизилов А.Б., Давидов А.В., Волков А.Ф.</i> Разработка металл-водородных технических мышц для машин и оборудования лесного комплекса	333
<i>Кизилов А.Б., Давидов А.В., Волков А.Ф.</i> Технические мышцы в манипуляторах со сложной кинематикой.....	336
<i>Власов Е.Н.</i> Некоторые инженерно-психологические проблемы создания задающих органов управления манипуляторами.....	340
<i>Власов Е.Н.</i> Особенности и требования к задающим органам управления манипуляторами	345
<i>Власов Е.Н., Волков А.Ф.</i> Анализ движущих моментов манипулятора с помощью принципа возможных перемещений	350
<i>Власов Е.Н.</i> Математическая модель многосвязной системы управления манипуляторами	354
<i>Власов Е.Н., Андреев С.В.</i> Исследование статических нагрузок манипулятора лесной машины ..	357
<i>Власов Е.Н., Коростелев П.О.</i> Анализ движущих моментов манипулятора с помощью общего уравнения динамики	364
<i>Власов Е.Н., Давидов А.В.</i> Анализ движущих моментов манипулятора с помощью уравнения Лагранжа 2-го рода.....	367

<i>Власов Е.Н.</i> Упрощение математического описания манипулятора как объекта управления для задач отработки рабочим органом заданных траекторий.....	370
<i>Власов Е.Н.</i> Модель динамики манипулятора.....	373
<i>Власов Е.Н., Васильев Н.И.</i> Исследование статических нагрузок манипулятора лесной машины при работе на склоне.....	377
<i>Мосеев И.Г., Кретинин В.И., Тепноев А.В.</i> Динамические нагрузки на двигатель при работе лесозаготовительной техники.....	383
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынин Ю.А., Песков В.А.</i> Влияние технического состояния машины на показатели топливной экономичности.....	388
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Котлов Д.П.</i> Анализ методики определения технического состояния топливной аппаратуры дизельного двигателя.....	393
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Захарян А.С.</i> Анализ динамических нагрузок в механизмах и системах трелевочного трактора с учетом резонансных колебаний.....	397
<i>Вохмянин Н.А., Тарабан М.В.</i> К вопросу применения метода вибронакатывания поверхностей деталей машин при производстве промышленной и бытовой техники.....	403
<i>Вохмянин Н.А., Тарабан М.В.</i> Свойства инструментальных сталей после лазерной обработки....	405
<i>Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Кузин И.С.</i> Преобразование законов распределения исследуемых параметров вертикальной динамики лесохозяйственного трактора с колесной формулой 4х4.....	408
<i>Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Захаров В.А.</i> Влияние запаса крутящего момента дизеля на буксование лесосечных машин.....	415
5. ДЕРЕВООБРАБОТКА И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ.....	419
<i>Бирман А.Р., Тамби А.А., Угрюмов С.А.</i> Измельчитель коры.....	419
<i>Сабанцев Д.А., Угрюмов С.А.</i> Вторичное использование изделий из древесины методом реставрации.....	424
<i>Хрусталева И.В.</i> Влияние формы заготовки на форму получаемого изделия.....	429
<i>Бызов В.Е., Бирман А.Р., Угрюмов С.А., Зубова О.В., Локиштанов Б.М.</i> Расчет армированной балки для сооружения переправ на лесных дорогах.....	432
<i>Зубова О.В., Бирман А.Р., Угрюмов С.А., Тамби А.А.</i> Конструкция несущей строительной балки.....	438
<i>Турбал Е.Ю., Шифрин Б.М., Елисеев И.В.</i> Анализ факторов, влияющих на процесс сушки пиломатериалов.....	443
<i>Федяев Ал.А.</i> Математическое моделирование процессов сушки материалов сложной формы с использованием ВЭР.....	447
<i>Федяев Ал.А., Федяев Ар.А., Федяева Н.Ю.</i> Особенности режимов работы ленточных установок.....	451
<i>Белогодова Н.А., Вохмянин Н.А., Тарабан М.В.</i> Современные методы увеличения износостойкости стального дереворежущего инструмента.....	456
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.</i> К вопросу поперечного шлифования древесины.....	462
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.</i> Особенности шлифования древесины поперек волокон.....	468
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.</i> Анализ процесса стружкообразования при шлифовании древесины абразивными зёрнами.....	471
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Дедерер М.А., Торочков Д.А.</i> Анализ пиления дисковыми пилами древесных материалов.....	476
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.</i> Анализ качества обработанной поверхности при пилении дисковыми пилами.....	480
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Дедерер М.А., Торочков Д.А.</i> Анализ кинематики резания древесных материалов дисковыми пилами.....	486
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.</i> Анализ режимов эластичного цилиндрического шлифования древесины с позиции активных зёрен.....	492

<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.</i> К вопросу шлифования древесины и древесных материалов.....	498
6. ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ	502
<i>Гордеева К.Д., Шифрин Б.М., Елисеев И.В.</i> SMART-стандарты и их использование в лесном комплексе	502
<i>Шалабот А.И., Шифрин Б.М., Елисеев И.В.</i> SCADA-системы как инструмент проектирования АСУ ТП.....	506
<i>Мокин А.Д., Елисеев И.В., Соколова В.С.</i> Сравнительный анализ различных методов расчета оптимальных параметров ПИД-регуляторов.....	513
<i>Егоров М.Ю., Коваленко И.И.</i> Усилитель высокой частоты для радионавигационной системы...	522

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Оценка влияния транспортной инфраструктуры на борьбу с лесными пожарами

Швыдкий И.П., Тюрин Н.А.

Введение.

Возросшая пожароопасная ситуация является одной из ключевых и наиболее актуальных проблем лесной промышленности России и других стран в последние годы. Каждый год на территории Российской Федерации регистрируется от 10 до 35 тысяч лесных пожаров, приносящих огромный ущерб экосистемы страны. К тому же обильное горение лесов может спровоцировать большие выбросы CO_2 , что, в свою очередь, вызовет ухудшение климатической ситуации в мире, и леса, в теории, будут гореть еще больше, поэтому вопрос экстренного тушения любого пожара стоит как никогда остро.

Множество исследований за последние годы в этой области сводятся к тому, что труднодоступность лесов во время лесных пожаров является одной из главных проблем, которые провоцируют увеличение площади горения, однако, излишняя доступность лесов также сказывается на ухудшении пожарной безопасности [1]. В связи с этим возникает потребность в определении рациональной плотности транспортной сети для наиболее эффективной борьбы с лесными пожарами.

Цель исследования – статистически проверить влияние плотности транспортной сети на площадь сгоревших лесов и число лесных пожаров на территории Российской Федерации и определить рациональную статистическую плотность дорог для обеспечения максимальной эффективности лесной пожарной безопасности.

Поскольку регионы России имеют разные площади, то основной количественный показатель развития транспортной инфраструктуры – это густота транспортной сети, характеризующаяся удельной протяженностью дорог региона в км. на тысячу гектар общей площади. Показатели эффективности пожаротушения и пожарной безопасности оценивались удельной площадью, пройденной лесными пожарами в течении года на тысячу гектар региона и число пожаров на тысячу гектар площади региона.

Материалы и методы

Для исследования влияния транспортной сети на пожары был проведен корреляционный анализ площади горения и числа пожаров в зависимости от плотности транспортной сети.

Для корреляционного анализа использовали официальные данные горимости лесов с 2009 по 2020 гг. из Федеральной службы гос. статистики,

Единой межведомственной информационно-статистической системы и Федерального агентства лесного хозяйства, а также программный комплекс «Microsoft Office Excel».

Выполненный анализ по всем регионам России позволяет понять, что имеется общая тенденция к снижению площади сгоревших лесов с увеличением плотности транспортной сети (Рис. 1) почти во все года исследуемого периода. Стоит отметить, что на графике (Рис. 1) видно, что наибольшая площадь сгоревших лесов приходится на территории с низкой плотностью транспортной сети.

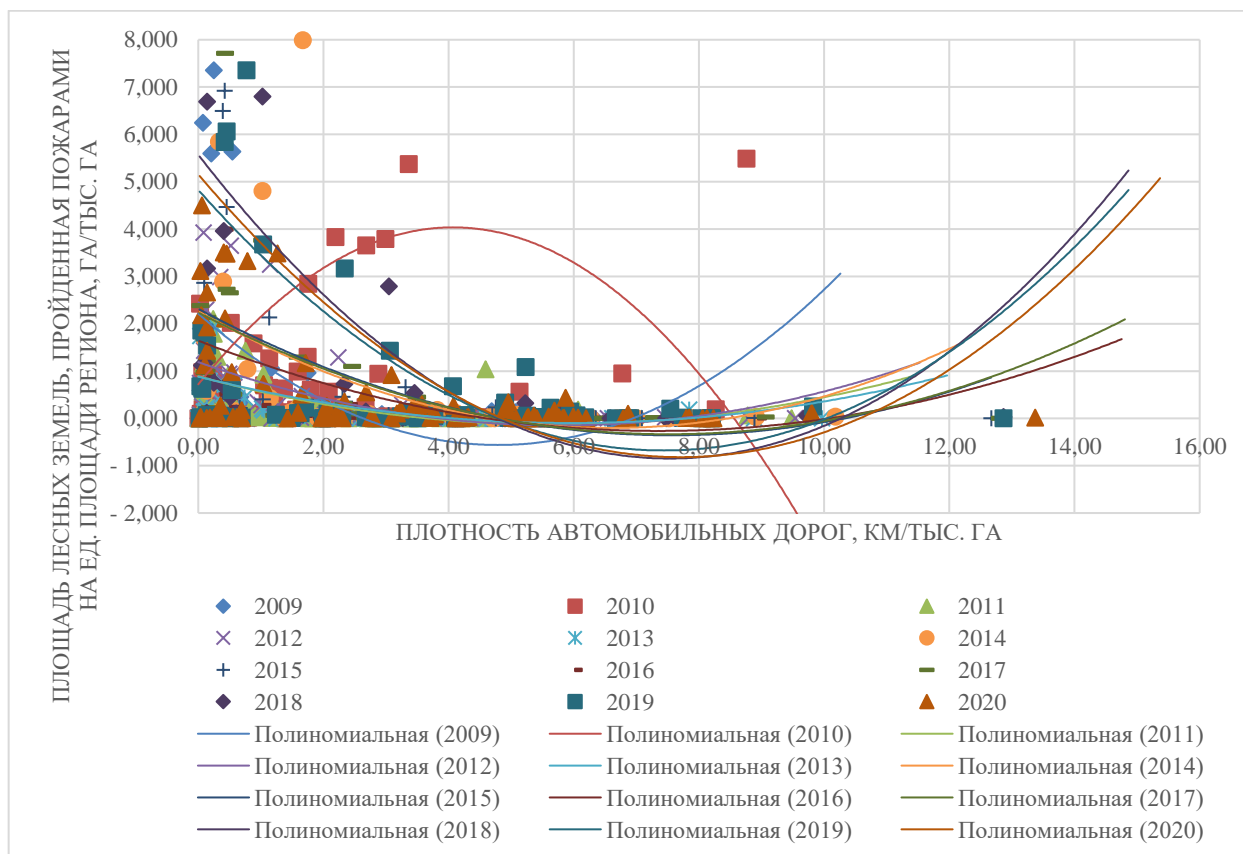


Рисунок 1. Фрагмент графика зависимости площади, пройденной пожарами от плотности транспортной сети по всем регионам РФ

На графике (Рис. 2) видно, что наилучшая теоретическая плотность транспортной сети, при которой обеспечивается наиболее эффективный мониторинг и пожаротушение, приходится на диапазон от 6 до 8 км/тыс. га. График зависимости числа лесных пожаров от плотности транспортной (Рис. 3) сети демонстрирует тенденцию к снижению числа пожаров с увеличением густоты автомобильных дорог. Однако стоит учитывать, что эти результаты получены по территории регионов всей России, с разной степенью лесистости. Важно также обратить внимание, конкретно, на основные лесные регионы РФ: Северо-Западный, Сибирский и Дальневосточный федеральные округа.

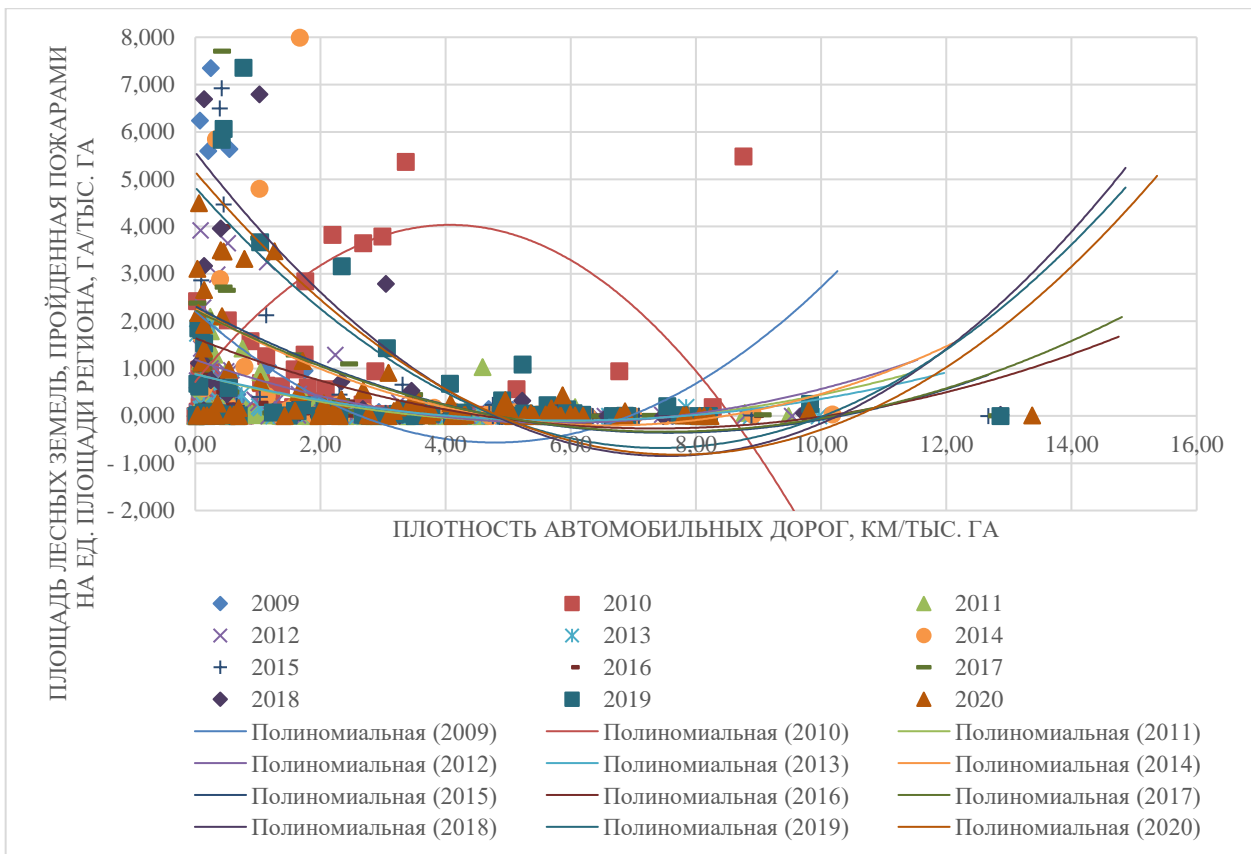


Рисунок 2. Фрагмент графика зависимости площади, пройденной пожарами от плотности транспортной сети с общей линией тренда за все года по всем регионам РФ

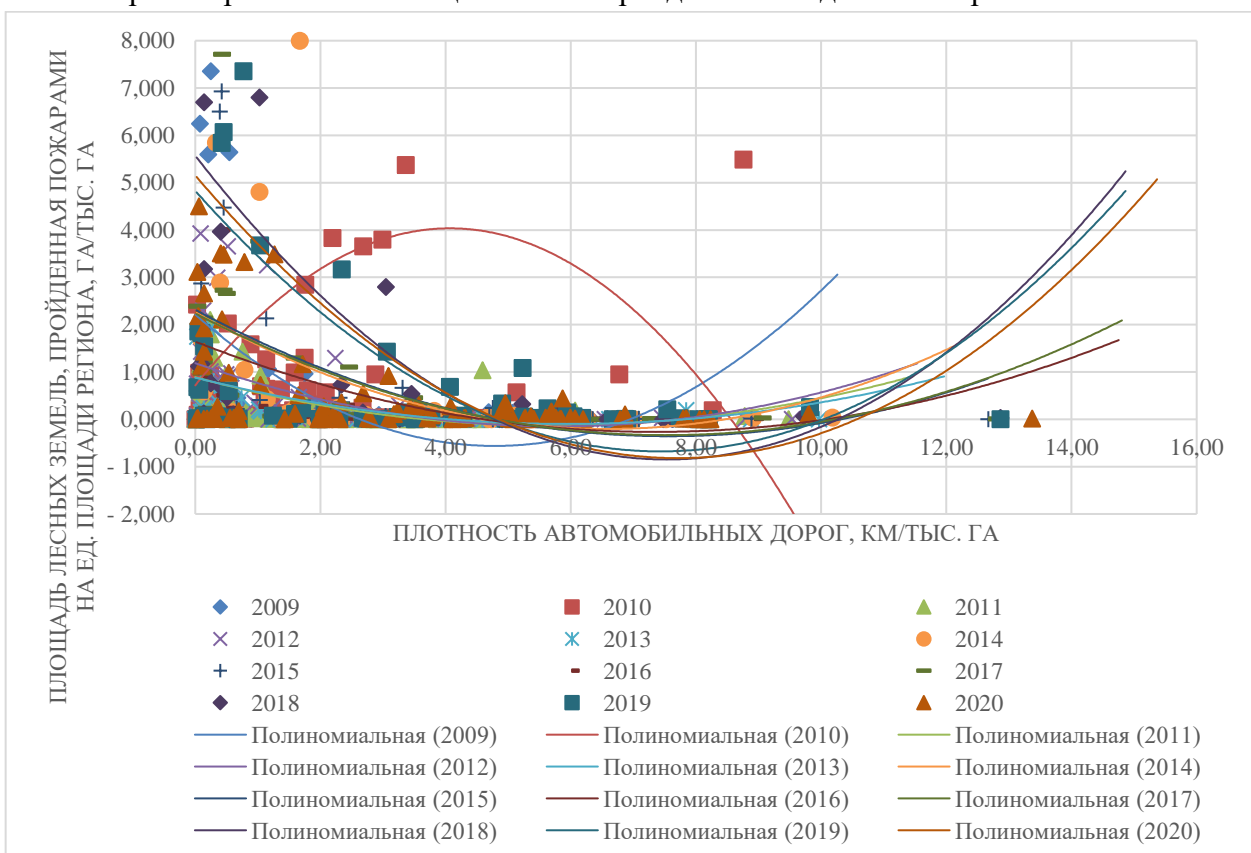


Рисунок 3. Фрагмент графика зависимости числа пожаров от плотности транспортной сети с общей линией тренда за все года по всем регионам РФ

Тенденция, отражающая зависимость площади пожаров от плотности транспортной сети по наиболее лесистым округам подтверждает результаты, характерные для всей России: снижение площади пожаров с увеличением густоты дорог, как, например, в Северо-Западном ФО (Рис. 4)

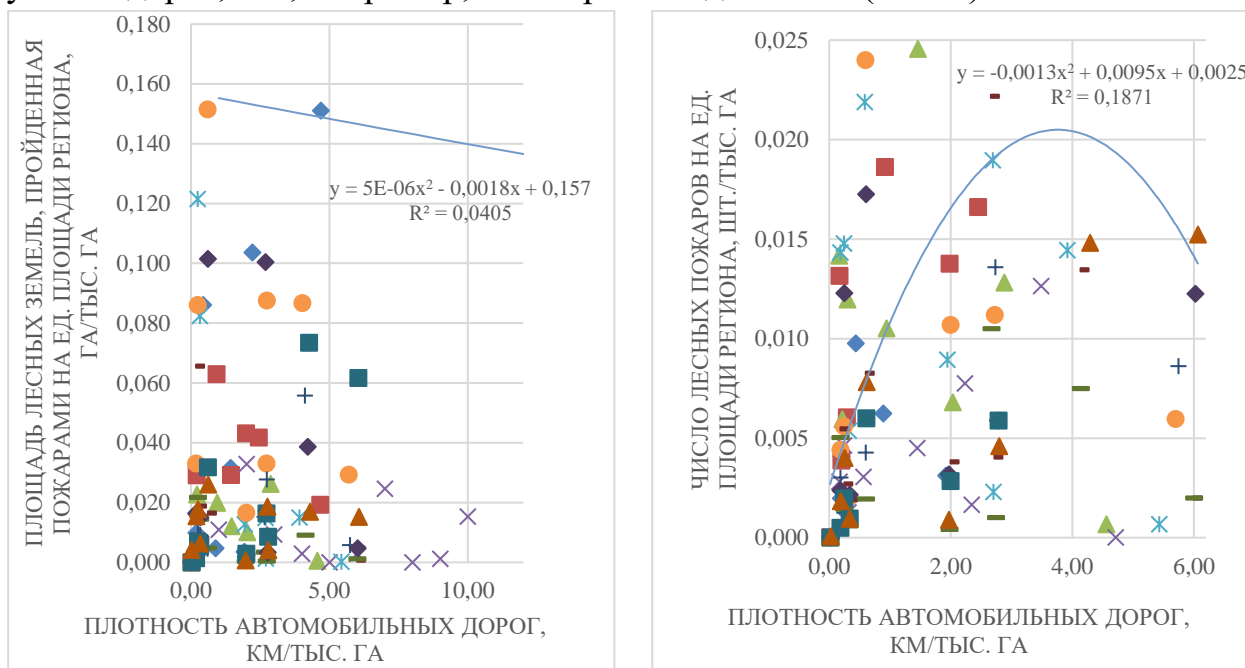


Рисунок 4. Фрагменты графиков зависимости площади, пройденной пожарами и числа пожаров от плотности транспортной сети с общей линией тренда за все года по Северо-Западному Федеральному округу

Заключение. Зависимость удельного числа лесных пожаров на ед. площади региона от плотности транспортной сети менее значима, поскольку основным источником лесных пожаров является человек, а плотность населения частично связана с плотностью дорожной сети.

Однако между плотностью транспортной сети и площадью сгоревших лесов существует статистически значимая корреляционная связь. Чем выше плотность дорог, тем выше возможность своевременной доставки сил и средств для эффективного тушения лесного пожара.

Наибольшая площадь сгоревших лесов на единицу площади региона имеет место при минимальной плотности дорог, ввиду невозможности оперативной доставки сил и средств тушения лесных пожаров. В дальнейшем с ростом плотности дорог до 6 - 8 км/тыс. га удельные площади сгоревших лесов уменьшаются. Этот показатель плотности дорог (6 - 8 км/тыс. га) можно считать наиболее рациональным для противопожарного транспортного обустройства лесов.

Библиографический список

1. Смирнов С.К., Тюрин Н.А. Статистический анализ причин возникновения лесных пожаров. Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XVII Международной научно-технической конференции (Вологда, 3 декабря 2019 г.). Вологда: ВоГУ, 2019. с.230-233.

Сведения об авторах

ФИО	Швыдкий И.П.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6274-7311
e-mail	chromspecial@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

Изложены результаты корреляционного анализа зависимости лесных пожаров от показателей транспортной инфраструктуры регионов Российской Федерации. Определена статистическая рациональная плотность транспортной сети региона для эффективной пожарной безопасности лесов.

Ключевые слова: корреляционный анализ, лесные пожары, густота транспортной сети, количество пожаров, площадь сгоревших лесов.

УДК 630*43

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.01.92

Методика обоснования инфраструктуры пеллетного производства по критерию минимума грузовой работы доставки сырья

Мотовилов Г.К., Тюрин Н.А.

Введение.

Лесопромышленный процесс сопровождается образованием большого количества древесных отходов, как на стадии заготовки древесины, так и на стадии ее переработки. Перспективным направлением утилизации древесных отходов является производство древесно-топливных гранул – пеллет [1]. Главной специфической чертой предприятий по производству пеллет является определяющая роль сырья в себестоимости и конкурентоспособности продукции, зависящая от территориального размещения производства относительно сырьевых источников. Региональное размещение пеллетных

производств требует серьезного технико-экономического обоснования, однако эффективных научных методик размещения таких предприятий пока не существует. Для решения такого класса задач целесообразно применять географический подход, универсальные геоинформационные системы и математико-картографическое моделирование [2].

Цель исследования – разработка методики и математической модели оптимизации территориального размещения pelletного производства по критерию минимума транспортных расходов на сырьевое обеспечение.

Материалы и методы

Для размещения нового pelletного производства необходимо найти опорные оптимальные координаты его местоположения в регионе x^c , y^c по критерию минимума грузовой работы доставки сырья. Целевая функция поиска координат центра тяжести имеет следующий вид:

$$R = \sum_{i=1}^n q_i \sqrt{(x^c - x_i)^2 + (y^c - y_i)^2} = \min \quad (1)$$

С ограничениями:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_i}{v_i} = M, \quad i = 1, 2 \dots n, \quad (2)$$

$$q_i \leq Q_i, \quad i = 1, 2 \dots n, \quad (3)$$

$$q_i \geq 0, \quad i = 1, 2 \dots n, \quad (4)$$

где R – транспортная работа по доставке сырья на предприятие, м.куб*км/год; q_i – объем поставки сырья из i -го источника в пункт размещения предприятия, м куб.; n – количество сырьевых источников в регионе; x_i , y_i – координаты центра тяжести запасов i -того источника; M – мощность pelletного производства по выпуску готовой продукции, тонн; v_i – коэффициент выхода готовой продукции по сырью i -го источника, м куб./т.; Q_i – возможный объем поставки сырья i -го источника, м куб.

Целевая функция (1) определяет совокупную грузовую работу на транспортировку сырья. Выражения (2) и (3) определяют баланс между требуемым объемом сырья и наличием его запасов в пунктах его сбора. Ограничение (4) отражает условие неотрицательности объемов поставок сырья.

Полученные координаты x^c , y^c позволяют получить опорное, начальное решение задачи оптимального размещения нового pelletного производства в регионе. Основной недостаток полученного решения – отсутствие учета существующей в регионе транспортной инфраструктуры. Все перевозки обеспечиваются по прямой воздушной линии и предполагается наличие транспортной связи каждого источника с производством, что, как правило, невозможно даже в регионах с развитой транспортной инфраструктурой. Для

учета транспортной инфраструктуры при поиске местоположения предприятия, используем полученное начальное опорное решение местоположения производства и инструментарий геоанализа. Полученные координаты нового пеллетного производства x^c, y^c нанести на карту и рассчитать коэффициенты удлинения k_i транспортировки сырья от центроидов их запасов x_i, y_i до опорного решения x^c, y^c размещения предприятия с учетом существующей транспортной инфраструктуры. Коэффициент удлинения определяется по формуле:

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

где l_i^t – расстояние транспортировки отходов от i -го источника до местоположения пеллетного производства x^c, y^c по существующей транспортной сети, км; l_i^p – воздушное расстояние от центроида запасов i -го источника до опорного решения x^c, y^c . При отсутствии транспортной связи с источником значение коэффициента удлинения принимают сколь угодно большим наперед заданным числом, например 99999.

Уточняем координаты оптимального положения нового пеллетного завода x^o, y^o с учетом наличия дорог по критерию минимума транспортной работы по следующей целевой функции:

$$R = \sum_{i=1}^n k_i q_i^2 \sqrt{(x^o - x_i)^2 + (y^o - y_i)^2} = \min \quad (6)$$

С прежними ограничениями (2), (3), (4).

Полученное новое решение координат размещения предприятия уже будет учитывать существующую транспортную инфраструктуру, но не учитывает некоторые социальные и экономические возможности строительства завода в точке с координатами x^o, y^o (отсутствие населенных пунктов, подводки тепла и энергии, наличие рабочей силы). Для учета этих факторов с помощью инструментов геоанализа (буферизация) находим ближайший (ближайшие s) к точке с координатами x^o, y^o населенные пункты, удовлетворяющие требованиям возможности строительства в них пеллетного производства и замеряем в гис-проекте их координаты $x_k, y_k, k=1\dots s$. Найденные координаты будут перспективными вариантами на размещения в них перерабатывающего предприятия. Для определения оптимального из них для каждого k -го варианта размещения предприятия решается задача оптимизации поставки сырья из i -го источника q_{ik} по критерию минимума транспортной работы. Целевая функция:

$$R_k = \sum_{i=1}^n k_{ik} q_{ik}^2 \sqrt{(x_k - x_i)^2 + (y_k - y_i)^2} = \min \quad (7)$$

Ограничения:

$$\sum_{i=1}^n \frac{q_{ik}}{v_i} = M_k, i = 1, 2 \dots n, k = 1, 2 \dots s \quad (8)$$

$$q_{ik} \leq Q_i, i = 1, 2 \dots n, k = 1, 2 \dots s \quad (9)$$

$$q_{ik} \geq 0, i = 1, 2 \dots n, k = 1, 2 \dots s \quad (10)$$

где R_k – оптимальная транспортная работа по доставке сырья k -го варианта размещения предприятия, м.куб*км; q_{ik} – объем поставки сырья из i -го источника в k пункт размещения предприятия, м куб.; k_{ik} – коэффициент удлинения перевозки сырья из i -го источника на k -ый вариант размещения предприятия с учетом транспортной инфраструктуры (5).

Окончательный вариант территориального размещения предприятия выбирают по критерию минимума транспортной работы из k вариантов $k = 1, 2 \dots s$. Из s мест выбирается место, для которого величина R_k , минимальна. В итоге получаем адрес размещения нового предприятия.

Описательный алгоритм апробации методики для условий Новгородской области: Задача оптимального месторасположения завода по производству пеллет может быть решена с использованием метода нелинейного программирования в надстройке MS Excel «Поиск решения» и геоинформационных технологий в следующей последовательности:

1. Решением оптимизационной модели (1-4), находят начальные опорные координаты оптимального положения пеллетного производства в регионе без учета существующей транспортной сети, рис. 1 (точка №1.1)

2. Полученные координаты x_0, y_0 наносят на карту и рассчитывают коэффициенты удлинения с учетом использования существующих автомобильных дорог региона для доставки лесопромышленных отходов по формуле (5).

3. Вновь рассчитать оптимальные координаты производства по оптимизационной модели и нанести на карту точку положения завода по производству пеллет теперь уже с учетом существующей транспортной сети региона, рис. 1 (точка №1.2)

4. Вблизи точки найденного оптимального положения пеллетного производства рассматривают все населенные пункты на возможность размещения в них завода по производству пеллет – Новгород, Чудово, Малая Вишера, рис. 1 (точки №1.1, 1.3, 1.4). Для каждого варианта размещения предприятия решается задача оптимизации поставки сырья по критерию минимума транспортной работы (рис. 2) и принимается окончательное решение с рекомендацией строительства пеллетного завода мощностью 75 тыс т /год в окрестностях г. Новгорода.

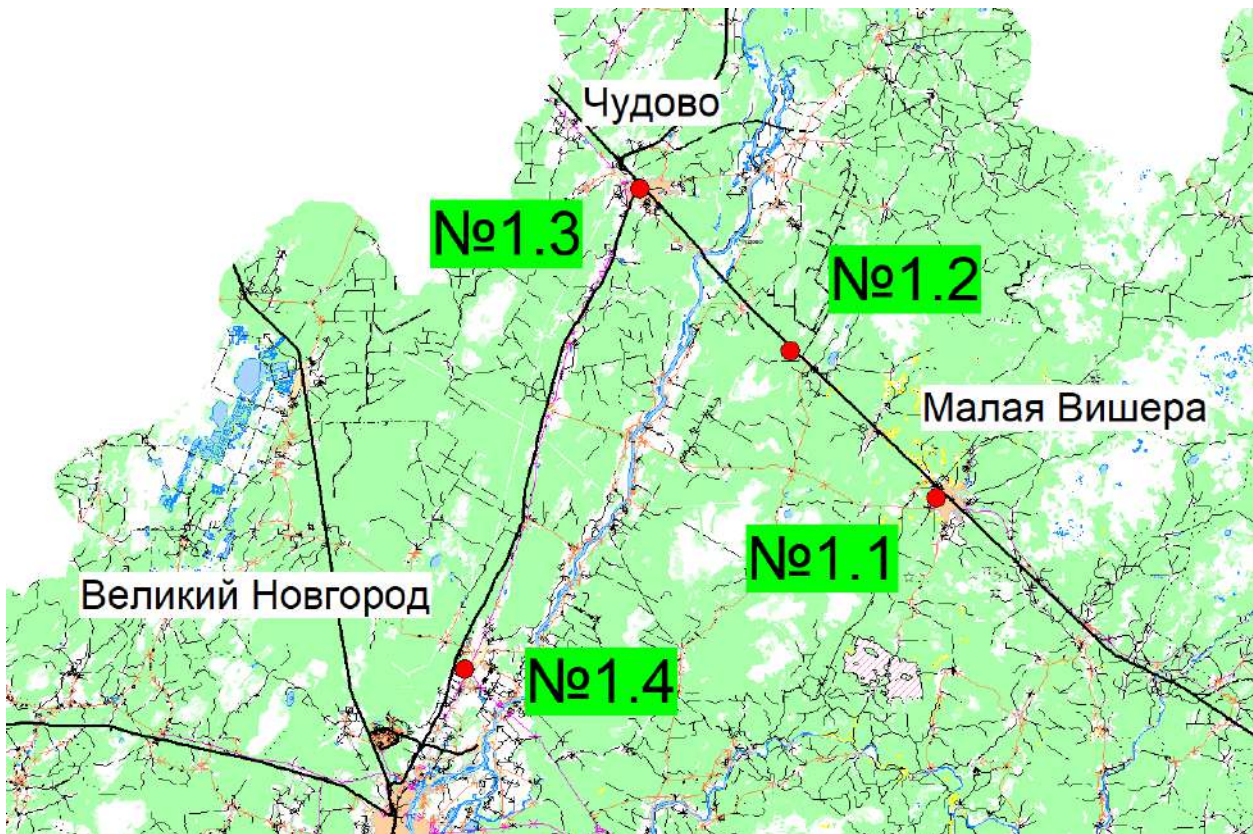


Рисунок 1. Варианты размещения pelletных заводов

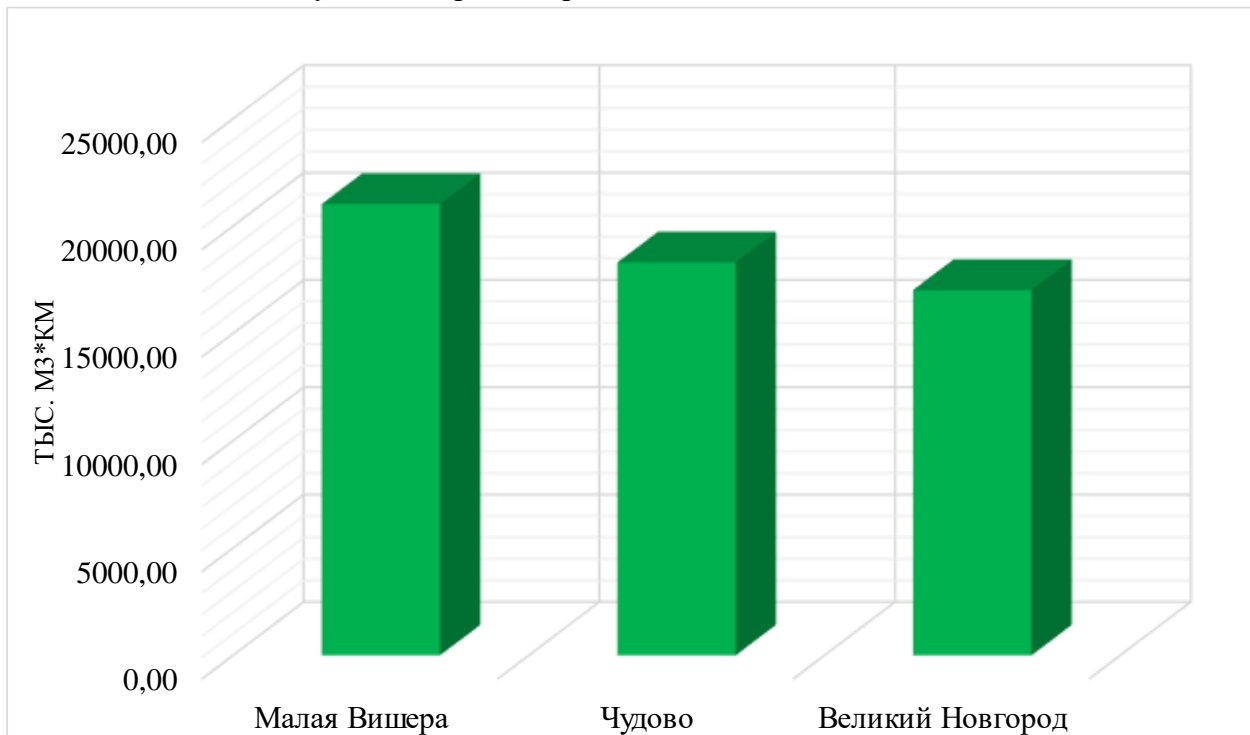


Рисунок 2. График грузовой работы доставки сырья на pelletные заводы

Заключение. Полученные результаты позволяют принять окончательное решение размещения pelletного производства по критерию транспортной работы доставки сырья. Минимальная грузовая работа доставки сырья проектной мощности pelletного производства 75 тыс. тонн, обеспечивается при

размещении завода в Великом Новгороде (рис. 1. точка №1.4) и составляет 17022,63 тыс. м³*км в год при среднем расстоянии доставки 45,4 км.

Для сравнения, грузовая работа доставки сырья на пеллетное производство в Малую Вишеру (рис. 1. точка №1.3) на 23,5% больше, чем в Великий Новгород, а в Чудово (рис. 1. точка №1.1) на 7,6% больше.

Выполненные машинные эксперименты подтвердили достоверность предложенной методики, которая может быть рекомендована для оптимизации территориального размещения пеллетных заводов по критерию минимума транспортной работы доставки сырья.

Библиографический список

1. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11.02.2021 №312р. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года.
2. Мотовилов Г.К., Громская Л.Я., Тюрин Н.А. Эвристический алгоритм территориального размещения целлюлознобумажного комбината по критерию грузовой работы доставки сырья. Цифровые технологии в лесном секторе/ материалы II Всероссийской научнотехнической конференции. / Под. ред. А.А. Добровольского. – Санкт Петербург: СПбГЛТУ, 2021. С. 90–93.

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	1725-3427
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 нового пеллетного производства в Новгородской области по критерию минимума грузовой работы доставки сырья.

Ключевые слова: грузовая работа, оптимизация местоположения пеллетного завода, сырьевые источники, среднее расстояние вывозки, картографическое моделирование.

УДК 630*6

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 68.01.29

Перспективы подготовки специалистов в области природопользования в лесотехнических вузах

Вернер Н.Н.

В последние десятилетия пристальное внимание мировой общественности уделяется к экологическим аспектам лесопользования [1], сохранению биоразнообразия лесной среды, а также к оценкам качества лесовосстановления [2]. Часто приводится распространенное мнение о том, что экологическая безопасность лесозаготовок заключается в отказе от проведения сплошных рубок леса, для сохранения биологического разнообразия. На такой трактовке настаивают рекомендации международных природоохранных организаций, таких как WWF и Greenpeace [3]. Однако отечественными и зарубежными учеными в области лесопользования доказано, что сплошные рубки леса соответствуют естественной динамике хвойных бореальных лесов [4].

Следует отметить, что если вопросам экологических последствий проведения лесосечных работ в научной и научно-популярной литературе последних лет, включая вышеупомянутую, уделяется большое внимание, то вопросами экологической безопасности лесопромышленных складов, особенно нижних, отечественные и зарубежные ученые практически не интересуются [5].

Ознакомление с практикой работы значительного числа лесозаготовительных предприятий России показывает, что весьма существенной проблемой нижних складов является отсутствие возможностей эффективной переработки низкотоварной древесины и древесных отходов [6]. Если на крупных и средних деревообрабатывающих и деревоперерабатывающих предприятиях древесные отходы эффективно используются в качестве топлива, то нижних складах, подавляющее большинство которых относится к мелким, по грузообороту, древесные отходы и неостребованные лесоматериалы скапливаются годами.

К сожалению, в учебных планах отраслевых вузов не находит достаточно отражения проблема эффективной переработки низкотоварной древесины.

В рамках направления 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» необходимо создание профилей, связанных с решением проблемы экологической безопасности лесозаготовок. Выделение отдельного профиля именно по лесозаготовительному производству необходимо потому, что во многом проблематика лесозаготовителя отличается от специалиста в области деревообработки. Это связано с разными местами основной деятельности, разными нормативными документами, регламентирующими выполнение работ и даже различным терминологическим аппаратом [7].

В рамках профиля «Экологическая безопасность лесозаготовительного производства» следует предусмотреть изучение дисциплин, связанных с вопросами эффективной переработки низкотоварной древесины и древесных отходов; заготовки и переработки недревесной продукции леса, особенно пищевой; технологических процессов и систем машин лесовосстановительных работ; энергетического использования древесного сырья; воздействия на лесные экосистемы лесозаготовительного производства, а также других видов пользования лесом, включая рекреационное; экологической сертификацией процессов и продукции основного производства.

Поскольку по действующему законодательству задачи по охране, защите и воспроизводству леса возложены именно на лесозаготовителя, то и подготовку специалистов по экологической безопасности лесозаготовительного производства следует вести именно в рамках направления 35.03.02.

Специалисты такого профиля очень пригодятся не только на лесопромышленных предприятиях, но и в компаниях, связанных с добычей ископаемых ресурсов, поскольку большая часть мест их добычи расположена на землях лесного фонда. Значит, вопросами лесосводки и рекультивации нарушенных лесных земель этим компаниям необходимо заниматься. Специалисты по лесосводке нужны также и энергетикам при строительстве трасс ЛЭП, трубопроводов, объектов гидроэнергетики. Остро стоит вопрос рекультивации нарушенных лесных земель после выработки карьеров, а также в лесах с повышенной антропогенной нагрузкой, из-за несанкционированных свалок мусора. Решать все эти вопросы должны специалисты, понимающие процессы лесопользования и хорошо знающие пути решения возникающих при этом экологических проблем [8].

Библиографический список

1. Анисимов Г.М., Григорьев И.В., Жукова А.И. Экологическая эффективность трелевочных тракторов. СПб.: СПбГЛТА, 2006 г. – 352 с.
2. Григорьев И.В., Жукова А.И., Ильин А.М. Повышение эксплуатационной и экологической эффективности сплошных рубок с сохранением биоразнообразия леса на основе ключевых биотопов. Деп. рукописи: библиогр. указ. ВИНТИ, 02.04.03. № 599 – 2003 – 22 с.
3. Григорьев И.В., Григорьева О.И. Основные направления обеспечения экологической безопасности лесозаготовительного производства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-1 (13-1). С. 202-205. DOI: 10.12737/10118.
4. Григорьев И.В., Григорьева О.И., Никифорова А.И. Возможности биоконсервации при проведении сплошных рубок леса // Биоразнообразие. Биоконсервация. Биомониторинг: Сборник материалов международной научно-практической конференции-Майкоп.: АГУ, 2013. С. 109-111.
5. Куницкая О.А. Повышение эффективности на нижних складах // Дерево.ru. 2015. № 3. С. 64-68.
6. Куницкая О.А. Ресурсы низкотоварной древесины в субъектах Российской Федерации // В сборнике: Наука, образование, инновации в приграничном регионе. Материалы республиканской научно-практической конференции. Петрозаводск: ПетрГУ, 2015. С. 15-17.
7. Тюрин Н.А., Григорьев И.В., Григорьева О.И. Проблемы подготовки специалистов лесозаготовительного производства для устойчивого лесопользования // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. Сборник научных трудов по материалам

международной заочной научно-практической конференции 25-27 марта 2014 г. № 2 часть 3 (7-3). Воронеж: ВГЛТА. 2014. С. 363-367. DOI: 10.12737/3266.

8. Куницкая О.А. Перспективные профили подготовки в рамках направления 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств»//Леса России в XXI веке: Материалы двенадцатой международной научно-технической интернет-конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. С. 138–141.

Сведения об авторах

ФИО	Вернер Надежда Николаевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2608-2312
e-mail	wernern@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены перспективные направления совершенствования учебных планов подготовки специалистов лесозаготовительного производства в области природопользования.

Ключевые слова: подготовка специалистов, природопользование, лесозаготовительное производство.

УДК 658.386.37

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 68.47.29

Взаимосвязь климатических изменений и роста площадей лесных пожаров

Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Платонов Е.В.

Введение.

Началом процесса опасных климатических изменений, связанных ростом температурных показателей на планете, получившему название "Глобальное потепление климата", по сведениям ежегодного "Бюллетеня состояния и тенденций изменения климата России"[1] стал 1980 год. Рост температурного фона на планете привел к ряду изменений, важнейшими из которых являются возрастание парникового эффекта, процесс деградации многолетней мерзлоты и увеличение площадей горения лесов на планете. Каждое явление связано с другими, воздействует на них и способствует увеличению выделения углекислого газа в атмосферу планеты, усиливающему процесс климатических изменений.

1. Динамика процессов горения лесов на планете

Последствия происходящих климатических изменений разделены специалистами на пять групп чрезвычайных ситуаций: геологические, метеорологические, гидрологические, лесные пожары и заболевания человека,

которые касаются процессов изменений земной коры, ее водной системы, лесных массивов на планете, погодных явлений и их воздействий на человека.

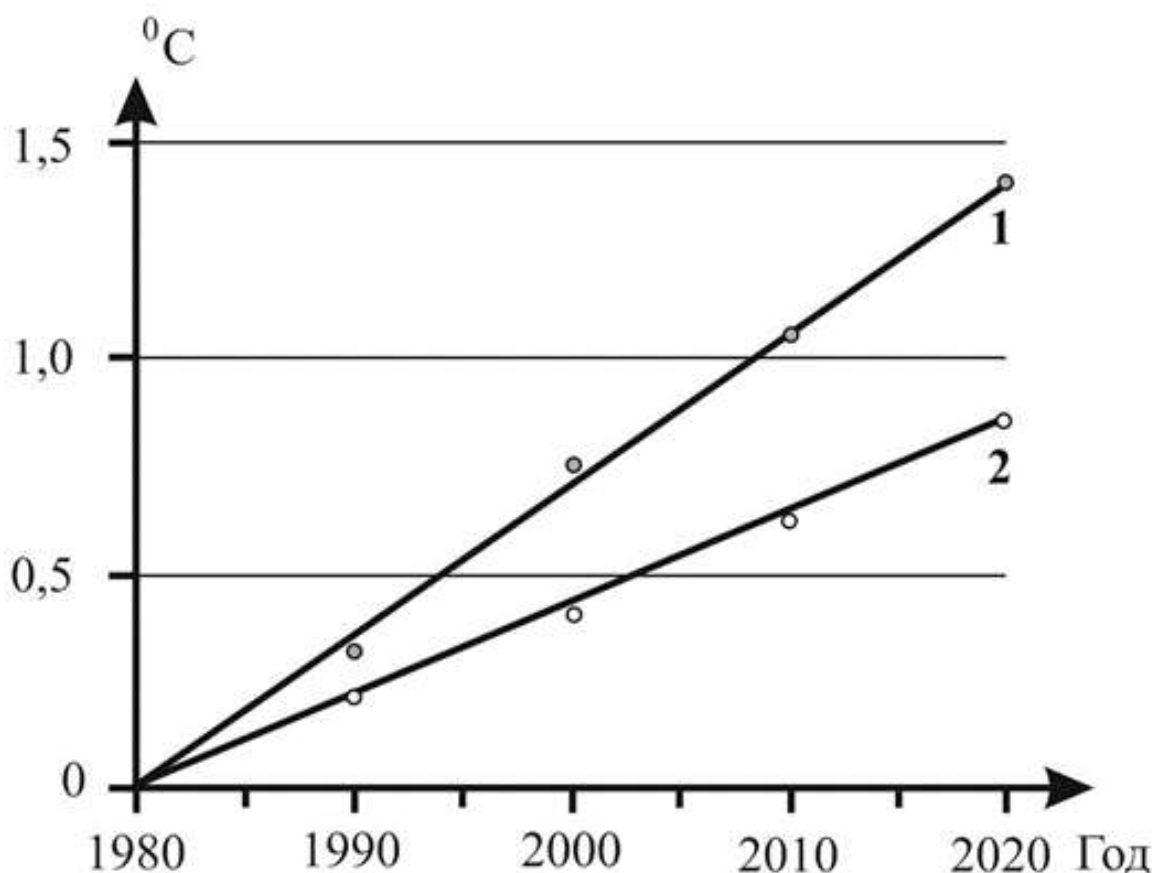


Рисунок 1. Динамика роста температуры:
1 – в северном полушарии, 2 – на планете в целом

Показатели, характеризующие процесс увеличения температуры на планете, построены по результатам обработки данных за сорокалетний период с 1980 года по 2020 год, представленных в «Бюллетене состояния и тенденций изменения климата России». Они укладываются в линейную зависимость роста температуры и позволяют определить величины ее годового прироста в Северном полушарии (график 1) и на планете в целом (график 2). Вычисленные показатели составляют для северного полушария $0.035^{\circ}/\text{год}$, а на планете в целом – $0.024^{\circ}/\text{год}$. Такая зависимость дает основания для исследования массивов данных по динамике лесных пожаров на более коротком временном интервале и сбора сведений численности лесных пожаров и площадей горения лесов.

В мире на долю всего пяти стран, приходится половина всех лесных запасов планеты. На американском континенте – это Бразилия, Канада и США, – на континенте Евразия – это РФ и КНР. Лесные запасы остальных стран существенно ниже каждой из пяти «лесных держав» планеты. На диаграммах рисунка 2 обработаны материалы и построены диаграммы площадей лесов (диаграмма А), объемов ведения лесозаготовки (диаграмма В), и средних

значениях площадей лесных пожаров (диаграмма С), произошедших на их территориях за последние пять лет.

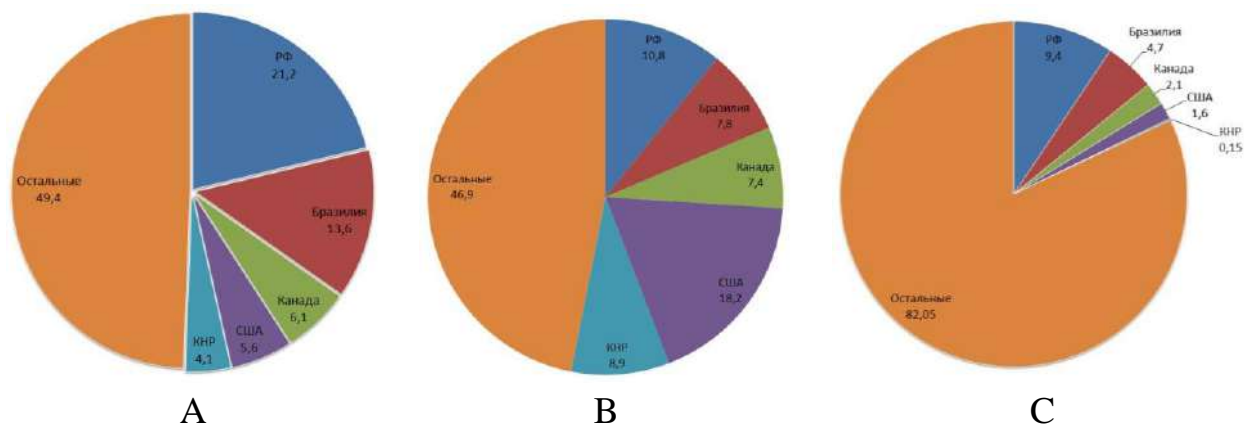


Рисунок 2. Диаграммы площадей лесов, объемов ведения лесозаготовки и площадей лесных пожаров пяти «лесных держав» планеты

На первый взгляд в численных показателях этих диаграмм все закономерно: на территориях с большими площадями лесов следует ожидать и пропорционально больших площадей их горения. Если сопоставить диаграммы А и С и выполнить расчеты, можно получить показатель горения лесов в пятерке стран на единицу площадей их лесов, выраженный в процентном отношении, который можно назвать "удельные площади горения лесов". Результаты выполненных расчетов приведены в таблице 1 и показаны на диаграмме 3. Учитывая информацию о различной динамике роста температуры в северном полушарии и на планете в целом, основываясь на близости климатических характеристик двух стран РФ и Канады, наличие регионов залегания многолетней мерзлоты на их территориях, целесообразно сравнить "удельные площади лесных пожаров" только двух этих стран.

Таблица 1. Сравнение показателей пяти "лесных держав" планеты

Характеристика		Единицы измерения	страна				
			РФ	Бразилия	Канада	США	Китай
Площади лесов	всего	млн. га	851	544	245	226	163
	в сравнении с Канадой	раз	3.47	2.22	1	0.92	0.67
Объем лесозаготовки	всего	млн. м ³	219.6	158.1	150.7	368.2	180.2
	от лесных запасов страны	%	10.8	7.8	7.4	18.2	8.9
Площади лесных пожаров	всего	млн. га	68.9	34.2	14.9	11.4	1.1
	от лесных запасов страны	%	8.1	6.3	6.1	5.04	0.7
	в сравнении с Канадой	раз	1.29	1.03	1	0.83	0.11

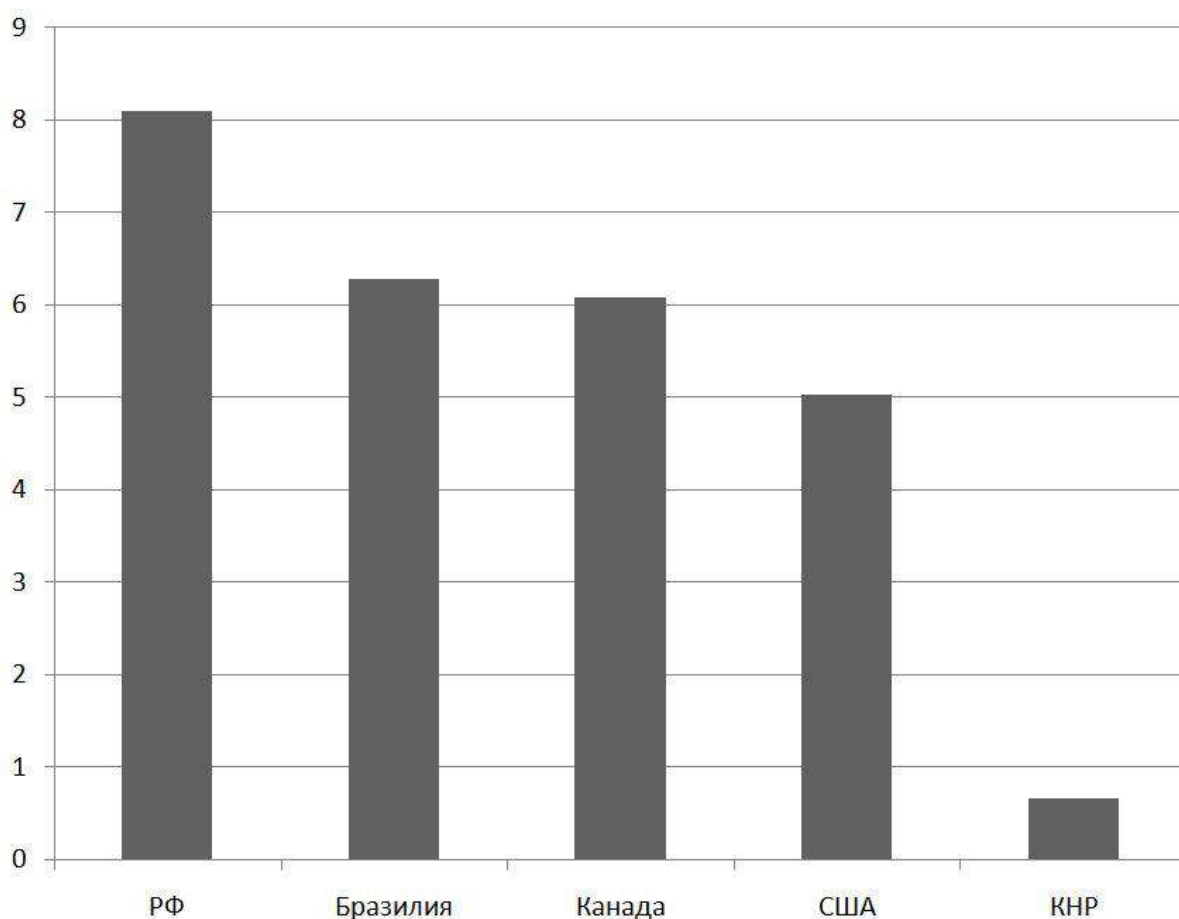


Рисунок 3. Диаграммы удельных площадей лесных пожаров пятерки лесных держав планеты

Из сравнения показателей площадей пожаров необходимо исключить Бразилию по причине 70% пожаров рукотворного происхождения для расчистки территорий. Превышение показателей "удельных площадей лесных пожаров" РФ над показателями Канады дает основание предположить одной из причин влияние разрешенных в РФ сжиганий порубочных остатков на лесосеке.

2. Влияние продуктов горения лесов на климатические изменения.

Кроме того, что в ежегодных лесных пожарах гибнет значительная часть национальной собственности страны, продукты горения лесов способствуют напрямую и косвенно процессу "Глобального потепления климата". В таблице 2 собраны сведения о продуктах горения лесов и их влиянии на климатические изменения. Установлено, что при сгорании 1 тонны древесины в атмосферу планеты выделяется: 125 кг оксида углерода CO , 12 кг углеводородов и 2 кг NO .

Последствия пожаров проявляются через продолжающееся гниение недогоревших деревьев с выделением в атмосферу эквивалентного количества углекислого газа (CO_2), как и при пожаре, но в более растянутом интервале времени. Пожар, затронувший торфяники, являющиеся хранителем CO_2 , способен высвободить еще большие его объемы, а поврежденный пожаром лес в меньшем количестве поглощает CO_2 и меньше вырабатывает кислорода.

Таблица 2. Продукты горения лесов

Продукт горения	Источник появления	влияние
CO ₂	горение леса при пожаре	один из основных газов, увеличивающих парниковый эффект, его выбросы при пожаре сопоставимы с сжиганием нефти, газа и угля
	горение торфяников	
	разложение недогоревших, гниющих деревьев	
Черный углерод	выделяемая при пожаре сажа	переносится ветром на большие расстояния, оседает на льду Арктики, снижая отражение солнечного потока тепла, вызывает усиление таяния ее льдов
Деградация почвы	уничтожение полезных микроорганизмов, помеха к восстановлению лесов	способствует возникновению эрозии почвы и процессу "опустынивания", почва не поглощает CO ₂ , увеличивая парниковый эффект.

3. Лесные пожары на территории РФ и ее крупнейших федеральных округах.

По материалам ИСДМ-Рослесхоз [2] и архивным материалам Российского статического ежегодника [3] были собраны и обработаны материалы по параметрам, характеризующим лесной фонд РФ и ее двух крупнейших субъектов, Сибирского Федерального округа (СФО) и Дальневосточного Федерального округа (ДВФО), показатели которых приведены в таблицах 3 и 4 и обобщены на диаграмме 4.

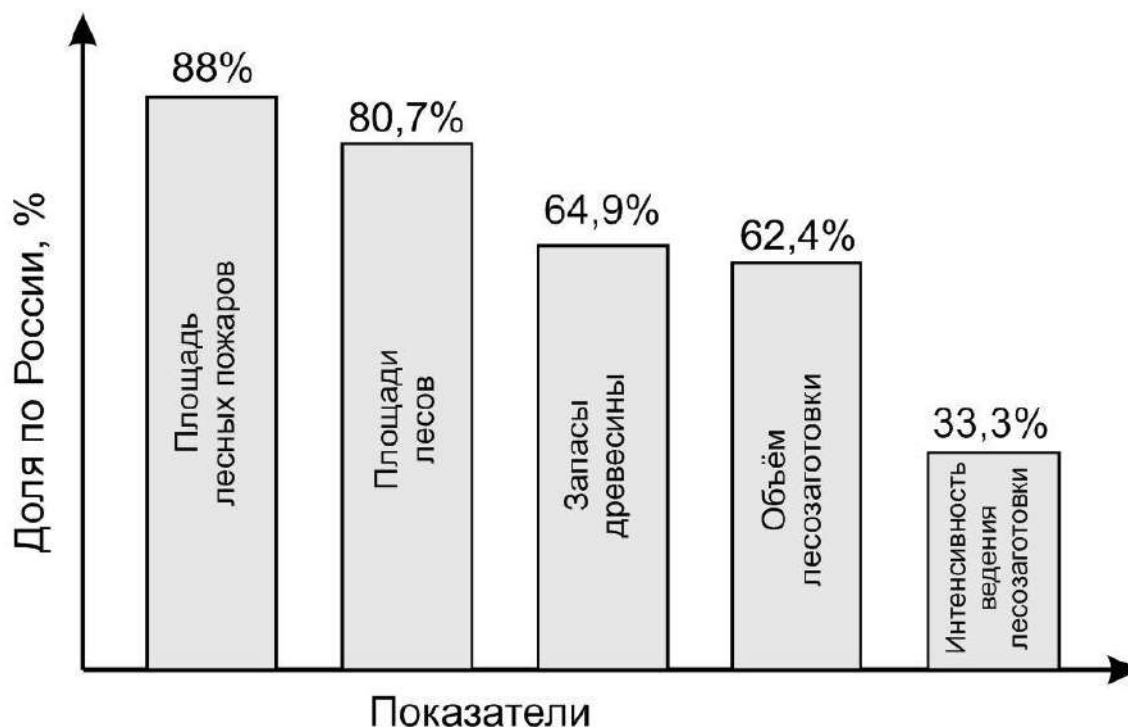


Рисунок 3. Доля показателей СФО и ДВФО в лесном фонде РФ

Таблица 3. Характеристики лесного фонда РФ и СФО и ДВФО

Показатель	Единицы измерения	Значение по		% от показателя по РФ
		РФ	СФО и ДВФО	
Площадь лесов	млн. га	809	653	80.7
Общий запас древесины	млн. м ³	82618.1	53614.0	64.9
Удельный запас древесины	м ³ /га	102.1	82.1	80.4
Объем ежегодной лесозаготовки	млн. м ³	219.6	88.9	40.5
Тоже в долях от лесных запасов	%	0.266	0.166	62.4
Интенсивность лесозаготовки	м ³ /га	0.3	0.01-0.4	

Таблица 4. Лесные пожары на землях РФ и землях СФО и ДВФО

Период наблюдений, лет	Площади лесных пожаров за период, млн. га				Прирост площадей лесных пожаров, %	
	всего	в среднем за период	Прирост средних значений		по нарастающей	период к периоду
			всего	период к периоду		
на землях РФ						
2000-2004	29.9	5.98	—	—	—	—
2005-2009	35.7	7.14	1.16	1.16	19.4	19.5
2010-2014	47.6	9.52	3.54	2.38	59.2	33.3
2015-2019	50.6	11.32	5.34	1.8	89.3	18.9
2020-2021	33.7	16.9	10.92	5.58	182.6	49.3
на землях СФО и ДВФО						
2000-2004	24.5	4.9	—	—	—	—
2005-2009	31.2	6.24	1.34	1.34	27.3	27.3
2010-2014	42.1	8.42	3.52	2.18	71.8	44.5
2015-2019	48.2	9.64	4.74	1.22	96.7	24.9
2020-2021	30.1	15.1	10.2	5.46	208.1	111.4

На основании выполненных расчетов можно заключить, что заготовка древесины в СФО и ДВФО ведется без отклонений от средних значений показателей по РФ в соответствии с запасами древесины в федеральных округах, но доли площадей горения лесов в СФО и ДВФО превышают аналогичные показатели по РФ. Это отклонение указывает на необходимость изучения причин их роста и отыскания путей снижения. Вероятно, что нарастающий процесс деградации многолетней мерзлоты сильнее сказывается на территориях СФО и ДВФО, т.к. приводит к увеличению площадей болот, высвобождению запасов CO₂ из поверхностных слоев земли, и негативно влияет на климатические изменения в Северном полушарии [4]. Нельзя также отбрасывать факт влияния сжигания порубочных остатков на лесосеках и гниения древесных отходов в отвалах повсеместно на территориях СФО и ДВФО, которые не вывозятся и не

поступают в дальнейшую переработку по транспортным и экономическим причинам.

На основании выявленной зависимости были сопоставлены материалы динамики температурного роста в северном полушарии планеты за период 2000-2020 годов и динамики увеличения удельных площадей горения лесов в РФ и СФО и ДВФО. Результаты расчета приведены в таблице 5, по их значениям построены зависимости на графике рисунка 5.

Таблица 5. Рост удельных площадей пожаров и рост температуры в северном полушарии

Динамика температурного роста в Северном полушарии	Удельная площадь лесных пожаров, %	
	РФ	СЗФО и ДВФО
0.548	0.74	0.75
0.638	0.88	0.96
0.690	1.18	1.29
0.936	1.40	1.48
1.02	2.09	2,31

Наиболее близкими зависимостями для связи удельных площадей лесов РФ и крупнейших лесных федеральных округов СФО и ДВФО и роста температуры в северном полушарии планеты являются экспоненциальные зависимости:

для РФ $F = 0.548 \exp(0.254 * t)$

для СФО и ДВФО $F = 0.563 \exp(0.268 * t)$

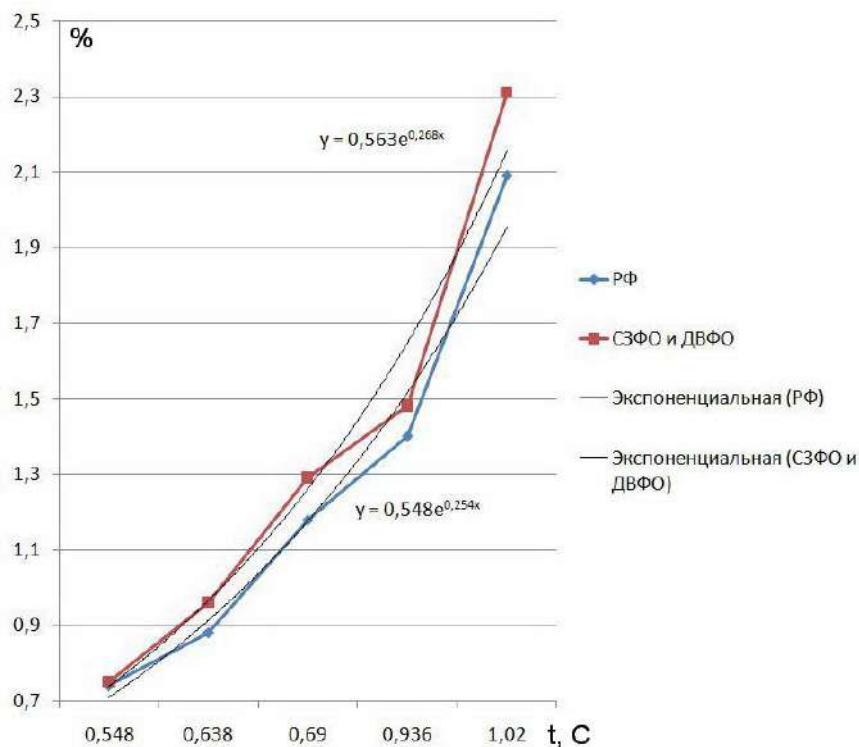


Рисунок 5. Доля роста показателей удельных площадей пожаров

Полученные зависимости указывают на более высокий темп роста удельных площадей горения лесов СФО и ДВФО по сравнению с показателями по РФ. На основании выявленных зависимостей, следует ожидать увеличения доли площадей лесных пожаров СФО и ДВФО в общих показателях по РФ и превышения показателя в 90% от площадей пожаров по РФ.

Заключение.

На основании обработки собранного материала о динамике процесса климатических изменений в Северном полушарии и интенсивности роста площадей горения лесов выявлена зависимость, связывающая два этих процесса. В ближайшие годы следует ожидать нарастания числа лесных пожаров и площадей горения, особенно в регионах залегания и деградации многолетней мерзлоты, к которым относятся СФО и ДВФО.

Библиографический список

1. Бюллетень «Изменение климата». Архив: <http://www.global-climate-change.ru/index.php/ru/bul-izmenenie-klimata/archive-of-bullet?> [дата обращения: 12.03.2022].
2. Федеральное агентство лесного хозяйства: <https://rosleshoz.gov.ru> [дата обращения: 10.03.2022].
3. Российский статистический ежегодник 2020. Федеральная служба государственной статистики: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ejegovodnik_2020.pdf [дата обращения: 12.03.2022].
4. Дмитриева И.Н., Григорьев Г.В., Новиков Д.Е. Связь лесных пожаров с климатическими изменениями и процессом деградации многолетней мерзлоты. Актуальные проблемы лесного комплекса Материалы XIX Международной научно-технической конференции. ВГУ. 2021. С. 177-184.

Сведения об авторах

ФИО	Григорьев Глеб Владимирович
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 Ирина Николаевна
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	Платонов Е.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 platoha9.14@gmail.com

Аннотация

В статье собран и проанализирован материал, касающийся причин роста площадей лесных пожаров в мире, РФ и двух крупнейших федеральных округах, Сибирском и Дальневосточном. Выявлена зависимость между увеличением температур и ростом площадей лесных пожаров, а также возрастание доли лесных пожаров СФО и ДВФО в площадях горения лесов РФ.

Ключевые слова: парниковый эффект, лесные пожары, углекислый газ, деградация многолетней мерзлоты.

УДК 556.06

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 37.27.23

Особенности технологии проведения заготовки древесины в Республике Саха (Якутия)

Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Платонов Е.В., Ершова Н.Г.

Введение.

Отличительными особенностями, связанными с освоением богатейших лесных запасов самого крупного субъекта Российской Федерации (РФ) – Республики Саха (Якутия), являются крайняя уязвимость лесов из-за их произрастания в зоне залегания многолетней мерзлоты и снижение транспортной доступности лесов из-за процессов ее деградации в глобальном процессе климатических изменений.

1. Лесные запасы республики Саха (Якутия)

Республика Саха (Якутия) входит в состав Дальневосточного федерального округа (ДВФО), где занимает 1 место по запасам древесины. Основные характеристики лесного фонда республики и его доля в лесных запасах РФ и ДВФО на основании собранных и переработанных материалов Росстата [1] приведены в таблице 1.

Более 80% произрастающих в Республике Саха (Якутия) лесов приходится на леса третьей группы, по большей части расположенных в труднодоступных территориях. Из материалов таблицы следует, что в лесах преобладают перестойные и спелые насаждения как по величине площадей лесов, так и по объемам древесины. Часть из них отнесена к группе резервных и лесных массивов, не намеченных к освоению в ближайшие 20 лет. По параметру лесистости южные территории Республики Саха (Якутия) в 3.7 раза богаче

северных. Отмечается низкий процент прироста древесины, который не достигает 1% от лесных запасов республики, что меньше в 2.2 раза среднего показателя по РФ.

Таблица 1. Характеристики лесного фонда Республики Саха (Якутия)

Характеристики лесного фонда			Ед. измерения	Значение
по площадям земель	всего		млн. км ²	2,56
	в долях от территории республики		%	83
	в долях от площади лесов	РФ	%	16.7
ДВФО		43.8		
по группам возраста	лесные запасы	спелые и перестойные	%	59.0
		приспевающие		9.2
		средневозрастные		25.8
		молодняк		6.0
	доля от общей площади лесов	спелые и перестойные	%	41.4
		приспевающие		6.9
		средневозрастные		31.4
		молодняк		20.6
Лесистость территорий	северных		%	25
	южных			93
	в среднем			46.5
Расчетный показатель	запасов древесины	всего	млн. м ³	8890
		удельный (на 1км ²)	тыс. м ³ /км ²	3.47
	прироста древесины	всего	млн. м ³	97.5
		к запасам	%	0.8
		в среднем по РФ	м ³ /Га	1.32
		в лесах республики		0.59

2. Проблемы эксплуатации лесов Республики Саха (Якутия)

Первой и важнейшей проблемой эксплуатации лесов, произрастающих на территории Республики Саха (Якутия), является их крайняя уязвимость, выражающаяся в растянутости периода восстановления на сроки, достигающие в южных территориях 160, а в северных - 200 лет, что значительно выше среднего показателя по РФ. Причиной этого является расположение всей территории Республики Саха (Якутия) в зоне залегания многолетней мерзлоты (ММ), которая представляет из себя слой земной поверхности и характеризуемый отрицательной температурой горных пород и почв и наличием существования подземных льдов, с отсутствием периодического протаивания и температурой, которая не поднимается выше 0 С долгое время (от 2-3 лет до тысячелетий) [2].

На основании наблюдений за последствиями проведенной лесозаготовки 60 лет назад на территории региона, специалисты сделали заключения о том, что лесовосстановление невозможно на площадях некоторых категорий лесных массивов республики, а образовавшиеся на местах проведенных рубок проплешины, оголившие массивы льда, приводят к оползням и, в последствии, к

заболачиванию территорий, усиливая тем самым выбросы газов, рост температуры воздуха и почвы, ускоряя процесс деградации ММ, тем более, что за последние 10 лет в республике увеличились температуры в среднегодовых значениях: воздуха на 4°, а почвы на 1° [3].

Чтобы избежать усиления этого процесса за счет неправильного ведения лесозаготовки, леса республики были разделены на три категории, в двух из которых ввели запрет на проведение лесозаготовительных работ. Таким образом, он коснулся 70% площадей лесов Республики Саха (Якутия). Разбивка лесов на категории, их устойчивость к ММ показаны в материалах таблицы 2 [3]. После этого к ведению промышленной лесозаготовки стало доступно менее трети лесов республики.

Таблица 2. Устойчивость лесов республики к ведению лесозаготовки

Категория устойчивости лесов к ММ	Название лесного массива	Доля площадей лесных массивов, %
Всего площади лесных массивов республики		100
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

Еще одну трудность ведению лесозаготовки добавляет структурный состав лесов республики, где основной произрастающей породой древесины является даурская лиственница, на долю которой приходится 86% всех лесных запасов республики и около 70% запасов ДВФО. Эта древесина занимает первое место по прочностным характеристикам среди всех пород хвойной древесины, произрастающих на территории РФ, и пользуется высоким спросом на внешнем рынке. Она знаменита таким свойством, как "окаменение" при длительном нахождении в воде, например, сваи из лиственницы не подвержены разрушению. Высокие физико-механические показатели древесины даурской лиственницы оборачиваются существенным удорожанием себестоимости лесозаготовки, т.к. требуют подбора особого оборудования. Обычным режущим инструментом невозможно пилить эту древесину по причине быстрого засмоливания и перегрева дисков, которые ломаются и не подлежат восстановлению. Кроме того, чем суше ставится древесина даурской лиственницы, тем сложнее становится ее пилить.

Еще одной проблемой даурской лиственницы является ее листопадность, образующая ковер из хвои, который становится причиной лесных пожаров. Эта особенность лиственницы вместе с высокими летними температурами и

явлением сухих гроз вывели республику на первое место в РФ по всем характеристикам, связанным с лесными пожарами. Поэтому, категорически запрещается сжигание порубочных остатков на лесосеке, а требуется их утилизация, что также приводит к росту себестоимости лесозаготовки. Показатели трех последних лет говорят о том, что в республике в пожарах уничтожается в 10 раз больше древесины, чем заготавливается.

В таблице 3 приводятся сравнительные показатели, характеризующие лесной фонд РФ и Республики Саха (Якутия). Имея высокие показатели запасов древесины в возрастной группе лесов, выделяемых в лесозаготовку, особенности условий произрастания поставили республику на последнее место в РФ как по объему лесозаготовки, так и по приросту древесины.

Таблица 3. Показатели лесного фонда РФ и Республики Саха (Якутия)

Характеристики использования лесного фонда	Ед. измерения	Значение	
		РФ	Якутия
Площадь лесных земель	млн. км ²	15,32	2,56
Объем лесозаготовки	млн. м ³	227	0.42
Потери от лесных пожаров в среднем за год		10.6	4.0
Доля гарей от общей площади лесов	%	0.2	8,9
Доля вырубок		0.5	0,05
Прирост древесины	м ³ /га	1.32	0.59
Интенсивности использования лесных земель	м ³ /га	0.3	0.0003

3. Транспортные проблемы ведения лесозаготовки.

Кроме перечисленных выше факторов, которые приводят к сокращению площадей лесных массивов для возможности ведения лесозаготовки и росту показателей группы спелых и перестойных лесов, высокой пожароопасности лесов, налагающей запрет на сжигание отходов на лесосеке, выбора специальной лесозаготовительной техники для ведения заготовки древесины даурской лиственницы, существует еще ряд транспортных проблем.

Кроме привычной – отсутствия лесных дорог для вывозки заготовленной древесины в силу дороговизны строительства на слабых мерзлых грунтах, климатические изменения привели к ограничению времени работы заготовительной техники в том числе по причине задержки сроков образования ледяного покрова и уменьшения его толщины на реках. В свою очередь это приводит к задержке начала работ зимних переправ на реках и сокращению времени их использования.

Вывозка древесины с береговых складов по водной системе республики осложнилась в последние годы в силу потепления климата высокими горизонтами воды в паводковый период и ростом скоростей течения воды, связанными с таянием ледниковых масс. Эти процессы выявляют круг дополнительных транспортных проблем: размывы и разрушения берегов, нарушения условий судоходства, в том числе снижение допустимой осадки

судов. За период пяти последних лет возможности перевозки грузов по водной системе сократились на 20%.

Библиографический список

1. Российский статический ежегодник 2021. Федеральная служба государственной статистики: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Ejegodnik_2021.pdf [дата обращения: 10.03.2022].
2. *Кудрявцева В.А.* Общее мерзлотоведение (геокриология), изд. 2. М.: Издательство МГУ, 1978. 464 с.
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. 2020. С. 132-138.

Сведения об авторах

ФИО Григорьев Глеб Владимирович
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 Ирина Николаевна
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 Платонов Е.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 platoha9.14@gmail.com

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

SPIN-код —

e-mail Matukhova88@mail.ru

Аннотация

В статье собран и проанализирован материал, касающийся проблем ведения лесозаготовки в самом крупном субъекте РФ, Республике Саха (Якутия), которые приводят к крайне низким показателям объема лесозаготовки и интенсивности использования лесных земель.

Высокая пожароопасность лесов, отсутствие транспортных путей, климатические изменения и крайняя уязвимость лесов в регионе залегания многолетней мерзлоты ограничивают возможности выделения лесных площадей под ведение заготовки древесины.

Ключевые слова: многолетняя мерзлота, уязвимость лесов, лесовосстановление, даурская лиственница, лесные пожары.

УДК 556.06

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 37.27.23

Применение и роль тренажера «Ponsse Full Simulator» в сфере подготовки специалистов лесопромышленного комплекса

Зверев И.А., Тарадин Г.С., Тюрина М.С.

Введение.

Подготовка высококвалифицированных специалистов для лесной отрасли является одним из перспективных направлений ее развития. Одним из способов повышения качества подготовки специалистов лесной отрасли технических специальностей является внедрение в образовательный процесс специальных тренажеров, позволяющих имитировать реальные ситуации на производстве.

В качестве примера таких тренажеров можно выделить «Ponsse full simulator» – специализированный тренажер, имитирующий работу на лесозаготовительной машине и моделирующий для обучающегося условия, максимально приближенные к реальным [1]. Его использование в образовательном процессе позволяет будущим специалистам наглядно ознакомиться с выполняемыми машинами на лесосеке технологическими операциями; их системой управления; принципом и последовательностью работы харвестера и форвардера и др.

Цель работы – выделить наиболее значимые области применения тренажера «Ponsse full simulator» в процессе обучения специалистов лесопромышленного комплекса различных направлений подготовки.

Методы исследования

Результаты исследования изложены, исходя из практического опыта проведения занятий студентам СПбГЛТУ им. С.М. Кирова различных направлений подготовки.

Результаты исследования.

Наибольшую практическую значимость использование симулятора фирмы «Ponsse» имеет при обучении специалистов по направлению подготовки «Лесоинженерное дело». Использование тренажера позволяет наглядно продемонстрировать обучающимся процесс заготовки древесины по сортиментной технологии с использованием харвестера и форвардера.

Программа симуляции предоставляет возможность создавать новые упражнения, редактировать уже существующие, добавлять и удалять различные объекты (деревья, валуны и пр.). Данный факт позволяет преподавателю создавать модели лесосек и наглядно демонстрировать обучающимся различные схемы их разработки с использованием харвестеров и форвардеров. Также в процессе обучения будущие технологи могут самостоятельно создать модель лесосеки по заданию преподавателя.

Отдельного внимания заслуживают упражнения, посвященные приобретению навыков по освоению технологий проведения выборочных рубок, что также является немаловажным навыком для технологов. Программа симуляции предлагает широкий перечень упражнений на эту тему, отличающимися между собой различным направлением валки деревьев относительно трелевочного волока. На рис. 1 представлен пример одного из упражнений на проведение выборочных рубок со смешанным направлением валки деревьев [2].



Рисунок 1. Пример упражнения на проведение выборочных рубок

Использование симулятора в образовательном процессе играет важную роль и при подготовке специалистов в области лесного машиностроения. Очевидно, что эксплуатация, техническое обслуживание и ремонт существующих моделей харвестеров и форвардеров, а также проектирование новых моделей, невозможно без понимания сути технологических операций, выполняемых машинами, и некоторых практических навыков по их управлению.

Обучение на симуляторе фирмы «Ponsse» позволяет будущим механикам наиболее эффективно (за счет визуализации процесса управления машиной на экране симулятора) освоить принцип работы, устройство и назначение каждого из агрегатов машин. Наибольшего эффекта от обучения можно достичь за счет комбинирования работы на симуляторе с теоретическим материалом по устройству харвестеров и форвардеров [3].

Также при обучении работе на симуляторе специалистов машиностроительных специальностей, отдельное внимание стоит уделить различным моделям харвестеров и форвардеров, которые можно менять в упражнениях. Это нужно для акцентирования внимания на конструктивные отличия различных моделей машин.

Стоит подчеркнуть, что сама конструкция симулятора (рис. 2) представляет собой модель настоящей кабины оператора машины с аналогичными органами управления, поворотным креслом, подлокотниками и пр. [4]. Соответственно, существенную роль в образовательном процессе симулятор может сыграть и при подготовке специалистов в сфере техносферной безопасности, в частности при

оценке эргономических параметров рабочего места оператора харвестера и форвардера. Кроме того, будущие инженеры по технике безопасности могут наглядно выделить и оценить опасные производственные факторы, возникающие в процессе заготовки древесины.



Рисунок 2. Общий вид тренажера «Ponsse Full Simulator»

Также тренажер «Ponsse Full Simulator» может быть использован и при подготовке научных кадров лесной отрасли. Основными сферами научных исследований, в которых можно активно использовать симулятор, являются исследования, посвященные влиянию психофизиологических свойств человека на управление машиной, а также исследования сменной производительности и времени цикла на обработку дерева.

Заключение.

Использование тренажера «Ponsse Full Simulator» в образовательном процессе дает возможность максимально наглядно и эффективно ознакомиться с технологией лесозаготовки по скандинавской технологии; устройством, принципом работы, системой управления харвестеров и форвардеров; технологическими операциями и приемами выполняемыми машинами при сортиментной заготовке древесины и т.д.

Наибольшую практическую значимость использование тренажера «Ponsse Full Simulator» имеет при подготовке специалистов по направлениям

подготовки: «Лесоинженерное дело», «Технологические машины и оборудование», «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» и «Техносферная безопасность». Также симулятор может активно использоваться для подготовки научных кадров.

Библиографический список

1. PONSSE Simulators 3/21 1. RUS. Copyright © 2021 Ponsse Plc. 2.
2. Машинная заготовка по скандинавской технологии. Учебное пособие / под ред. И. В. Григорьева. – СПб.: Издательско-полиграфическая ассоциация высших учебных заведений, 2019. – 192 с.
3. Андронов А.В. Многооперационные лесные машины: учебное пособие для студентов направлений подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / А.В. Андронов [и др.]. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 130 с.
4. Камаев Ю.И., Мартынов Б.Г. Многооперационные машины. Харвестер Ponsse Ergo. Методические указания. – СПб.: СПбГЛТА, 2009 – 32 с.

Сведения об авторах

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 1126-2121
e-mail igorzv1997@gmail.com

ФИО Тарадин Григорий Сергеевич
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 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

Аннотация

В статье рассмотрены наиболее значимые области применения тренажера «Ponsse Full Simulator» в процессе обучения специалистов лесопромышленного

комплекса. Выделены направления подготовки будущих специалистов, в образовательный процесс которых наиболее целесообразно включить практические занятия на симуляторе. Обозначены сферы научных исследований с использованием симулятора фирмы «Ponsse».

Ключевые слова: специалисты лесной отрасли, симулятор фирмы «Ponsse», процесс обучения, харвестер, форвардер; forest industry specialists, Ponsse simulator, learning process, harvester, forwarder.

УДК 630*36

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.01.79

Методы весового контроля грузов на дорогах

Артемьев В.В., Никифоров И.В.

Введение.

Весогабаритный контроль служит для защиты дороги от сверхнормативного, убивающего их воздействия. Весогабаритный контроль включает в себя не только пункты контроля, но и нормативные акты. Одним из них является Федеральный закон об автомобильных дорогах № 257-ФЗ от 08.11.2007. Таким образом весовой контроль является значимым элементом в эксплуатации дорог.

Габаритно-весовой контроль транспортных средств - это осуществляемый уполномоченными организациями контроль за проездом большегрузных и/или крупногабаритных транспортных средств по дорогам общего пользования. Включает в себя проверку соответствия габаритно-весовых параметров транспортных средств установленным законодательством параметрам и нормам, наличие разрешения на движение по определённым маршрутам, а также соблюдение оговоренных в разрешении условий и режима движения транспортных средств [1].

Состояние вопроса исследования со стороны надзорных органов.

На данный момент существует три вида весогабаритного контроля:

- стационарные (СПВГК)
- передвижные (ППВГК)
- автоматические

Весогабаритный контроль осуществляется уполномоченными контрольно-надзорными органами в рамках предоставленных им полномочий.

Рассмотрим более детально осуществление весогабаритного контроля на стационарных и передвижных пунктах. Они включают в себя следующие способы контроля:

Визуальный: выявление в транспортном потоке автомобиля с возможным превышением весогабаритных параметров и направление такого транспортного средства к СПВГК или ППВГК для измерения весовых и габаритных параметров.

Инструментальный: измерение габаритов (длина, ширина, высота); измерение расстояний между осями; определение групп сближенных осей; измерение весовых параметров транспортного средства (нагрузка на ось, нагрузка на группу сближенных осей, масса).

Документальный: по требованию должностного лица водитель транспортного средства предоставляет следующие документы: специальное разрешение на движение тяжеловесного и/или крупногабаритного транспортного средства при его наличии; документы на перевозимый груз; водительское удостоверение; регистрационные документы на транспортное средство [2].

Система дорожного весового контроля «СВК» предназначена для автоматического выявления и фиксации транспортных средств, осуществляющих движение по автомобильным дорогам общего пользования с нарушением правил перевозки грузов в части допустимых осевых нагрузок, полной массы и габаритных размеров.

Данная система устанавливается на линейных участках автомобильных дорог общего пользования и представляет собой комплекс измерительных и технических средств: силоприемных модулей, индикаторов обнаружения транспортных средств, модуля измерения габаритных размеров, модуля позиционирования и определения числа колес оси движущегося транспортного средства, модуля фотофиксации и распознавания государственных регистрационных знаков транспортного средства, шкафа с электронной частью, устройства передачи данных и специального программного обеспечения [3, 4].

Преимущество такой системы над стационарными и передвижными пунктами заключается в том, что:

- система функционирует в круглосуточном и круглогодичном режиме;
- принцип работы «СВК» позволяет осуществлять контроль транспортного потока по всей ширине проезжей части без снижения скорости движения транспортных средств.

Однако у системы автоматического весового контроля есть существенный недостаток, после пересечения этой системы перегруженное транспортное средство продолжает свое движение, тем самым наносит вред и разрушает дорогу.

Весовой контроль со стороны лесотранспортной службы.

Для контроля веса автомобиля непосредственно во время погрузки в него лесоматериалов можно установить на нижнем складе подкладные весы для 2 и 3

осей. С их помощью возможно взвешивание автомобилей в 2 этапа и подвижных составов в 3 этапа. Благодаря таким весам можно измерять массу погруженной машины прямо в месте ее погрузки и отслеживать, соответствует ли масса автомобиля допустимым нормам нагрузки.

Основные характеристики подкладных весов:

- длина весов для двух осей 2,5 м, для трех осей 3,2 и 4,2 м;
- максимальная масса одиночного транспортного средства 50 т, подвижного состава 80 т;
- не требуют фундамента и монтажа [5].

Еще одним методом весового контроля может быть система контроля нагрузки на ось грузового автомобиля. На ведущую ось тягача устанавливается датчик давления. От каждого датчика давления, установленного на пневмоподвеске прицепа/полуприцепа протягивается кабель по аналогии с тягачом, обеспечивающий передачу информации от датчиков на блок «Прицеп». Передающий блок «Прицеп» устанавливается на переходной раме полуприцепа и запитывается от розетки ABS. От блока «Прицеп» информация передается на блок «Мастер», который обрабатывает данные всех датчиков и передает на смартфон в виде нагрузок. В результате, на экране телефона показывается нагрузка по каждой отдельной оси, которая объединена в один пневмоконтур. Измерить нагрузку система может только на замкнутом пневматическом контуре – поэтому, если полуприцеп оборудован тремя осями, но все эти оси лежат в одном пневматическом контуре – то возможно получить лишь усредненную нагрузку на три оси [6].

Заключение.

При соблюдении весового контроля можно уменьшить затраты на ремонт дороги, в связи с чем весовой контроль напрямую связан с качеством и долговечностью покрытия дороги. При превышении веса транспортного средства, происходит разрушение дорожного покрытия, образования выбоин и колеи, тем самым уменьшает срок службы покрытия.

Библиографический список

1. Габаритно-весовой контроль транспортных средств: https://ru.wikipedia.org/wiki/Габаритно-весовой_контроль_транспортных_средств [дата обращения: 11.03.2022].
2. Электронный фонд правовых и нормативно-технических документов: <https://docs.cntd.ru/document/677024905> [дата обращения: 16.03.2022].
3. Артемьев В.В. Встроенная система весового контроля на автопоездах / В.В. Артемьев, А.С. Ушакова // Инновационные решения социальных, экономических и технологических проблем современного общества. – ООО «Конверт», М.: 2021. – С. 57-62.
4. Система дорожная весового и габаритного контроля «СВК»: <https://www.tenso-m.ru/sistemy-dorozhnogo-vesovogo-kontrolja/259/> [дата обращения: 09.03.2022].
5. БюроВесов: <https://buro-vesov.ru/lp/podkladnye-vesy/> [дата обращения: 14.03.2022].

6. Track Help: <https://buro-vesov.ru/lp/podkladnye-vesy/> [дата обращения: 16.03.2022].

Сведения об авторах

ФИО Артемьев В.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 2826-8170
e-mail artemev.vladislav@gmail.com

ФИО Никифоров И.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 vtkglt@mail.ru

Аннотация

В данной статье поднимается вопрос о методах весового контроля грузов на дорогах со стороны надзорных органов и со стороны отправителя. При соблюдении весового контроля можно уменьшить затраты на ремонт дороги, в связи с чем весовой контроль напрямую связан с качеством и долговечностью покрытия дороги.

Ключевые слова: весовой контроль, пункты весового контроля, датчик давления; weight control, weight control points, pressure sensor.

УДК 338.4

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15

Методы укрепления грунтовых дорог с применением цементных составов

Артемьев В.В., Филиппов Р.В.

Введение.

Укреплением грунтов принято называть ряд последовательных технологических операций по размельчению грунта, перемешиванию его с вяжущими, увлажнению и уплотнению смеси, что в конечном итоге обеспечивает рациональное воздействие на грунт добавок вяжущих и других веществ и придает ему высокую прочность и длительную устойчивость не только в сухом, но и в водонасыщенном состоянии.

Результаты многолетних теоретических и экспериментальных исследований показали, что укрепление грунтов минеральными вяжущими материалами является наиболее эффективным, дешевым и универсальным методом. В силу высокой реакционной способности среди минеральных вяжущих преобладающее распространение получил цемент. Это особенно актуально в условиях строительства и ремонта грунтовых лесных дорог на территории Российской Федерации. Зачастую лесная транспортная сеть развита слабо, и чтобы добраться до лесозаготовительного участка нужно преодолеть значительное расстояние.

В строительстве новых грунтовых дорог стоит задача минимизировать расходы, в том числе и на материалах: большие затраты идут на логистическое перемещение привозного грунта. Заготовительные работы длятся не один сезон, поэтому необходимо обеспечить достаточную несущую способность дороги, в чем и могут помочь цементные составы.

Главная идея в применении различных методов укрепления грунтов, в том числе цементными составами – это широкое использование местных грунтов как исходного наиболее дешевого и доступного материала, обеспечивающего в результате соответствующей его технологической обработке получение полноценных заменителей привозных каменных материалов. [1]

Цель работы – анализ методов и материалов при цементации грунтовых дорог.

Укрепление минеральными вяжущими материалами.

Для укрепления грунтов с большим успехом могут применяться минеральные вяжущие: цементы, известь, активные тонкодисперсные золы уноса, молотые гранулированные шлаки.

Особенно заметный эффект получается при укреплении грунта портландцементом. Цементно-грунтовая технология основана на смешивании до однородного состояния цемента и естественного грунта при установленном содержании воды и уплотнении с целью придания укреплённому грунту определённых свойств: прочности, устойчивости, морозостойкости и т. д.

Основную часть портландцемента составляют силикаты кальция, которые при смачивании водой превращаются в новые соединения (гидросиликаты кальция, гидрат окиси кальция), обладающие высокой цементирующей способностью. Под действием этих соединений песчаные и пылеватые частицы, а также мелкие комочки грунта скрепляются в монолитную прочную и водоустойчивую массу. В результате сложных химических и физико-химических взаимодействий наиболее мелкие глинистые частицы грунта под действием цемента утрачивают отрицательные свойства: способность к набуханию и размоканию в воде, теряют пластичность и липкость.

Наиболее пригодным для укрепления грунтов является алитовый портландцемент. Во II...III климатических зонах следует применить портландцемент марок 400...500 со сроком схватывания не менее 2 ч.

Основными технологическими операциями укрепления грунтов вяжущими материалами являются: размельчение глинистых грунтов, точное дозирование вяжущих и других веществ, тщательное перемешивание грунта и вяжущих материалов, увлажнение смеси до требуемой оптимальной влажности; уплотнение готовой смеси до стандартной плотности; уход за уплотненным слоем из укрепленного грунта [2].

Технологические операции всегда должны выполняться в строго установленном порядке и быть закончены до начала изменения свойств грунта и формирования заданной пространственной структуры.

Таким образом, укрепление грунтов сводится к комплексу технологических и химических воздействий на грунт, обеспечивающих формирование заданных структурно-механических свойств укрепленного грунта [5].

Устройство оснований и покрытий из грунтов, укрепленных неорганическими вяжущими материалами, осуществляют преимущественно при температуре не ниже 5°C. При более низких температурах принимают меры против смерзания укрепляемых грунтов.

Комплексный метод укрепления грунтов.

Изменяя величину и соотношение добавок вяжущих и других веществ, можно целенаправленно изменять механические и физические свойства укрепленных грунтов в зависимости от области их применения.

В качестве добавок при комплексном укреплении грунтов с использованием цемента как основного вяжущего материала применяют вещества, способствующие формированию более прочной структуры и активные по отношению к грунту: известь, едкий натрий, углекислый натрий, хлористый кальций, сернокислый натрий, сернокислое железо, гипс, серно-кислый магний, жидкое стекло, кремнийорганические соединения, битумные эмульсии, сырую нефть, золы уноса и др. В кислые грунты для устранения их кислотности вносят добавку извести, едкого натра или углекислого натрия.

Комплексному укреплению поддаются практически все грунты, поэтому задача заключается лишь в том, чтобы на основании учета свойств грунта правильно подобрать вяжущее и химические добавки, с помощью которых можно получить наиболее устойчивые материалы.

К настоящему времени накоплен большой опыт по применению как органических, так и неорганических вяжущих материалов для укрепления грунтов, используемых в конструкциях дорожных одежд лесовозных автомобильных дорог. Практика показала, что цементогрунтовые покрытия

можно с успехом использовать на лесовозных автомобильных дорогах при условии защиты их слоем износа от непосредственного воздействия колес автомобилей. Однако технология укрепления грунта цементом до сих пор не получила широкого распространения при строительстве лесовозных автомобильных дорог. Решающее значение для широкого внедрения в практику лесного дорожного строительства цементогрунтовых слоев имеют следующие факторы:

- существенное снижение потребности в цементе при укреплении лесных суглинков, характерных для большинства лесных районов страны;
- высокие прочностные и деформативные свойства цементогрунта, соответствующие тяжелым условиям эксплуатации лесных дорог.

Решение этих задач возможно при разработке простого экономичного комплексного метода укрепления грунтов цементом с применением активных добавок. Наиболее широкое распространение в России и за рубежом при комплексном укреплении грунтов цементом получила известь, используемая в качестве активной добавки. Однако введение извести усложняет технологию производства работ (известь вносят за сутки до введения цемента). Кроме того, ее вводят в достаточно большом количестве (дозировка извести составляет 1,0 – 3,0 % от массы грунта).

В последние годы определенный интерес в качестве активных добавок для устройства цементогрунтовых слоев конструкций лесовозных автомобильных дорог вызывают синтетические поверхностноактивные вещества, которые хорошо зарекомендовали себя при строительстве автомобильных дорог из укрепленных грунтов в трудных дорожно-климатических условиях.

Одним из комплексных методов укрепления грунта является добавление к цементогрунту полидемитилдиаллиламаний хлорида. Этот ПолиДМДААХ – высокомолекулярный сильноосновной катионный полимер линейно-циклической структуры. При введении в цементогрунт раствора полиэлектролита происходит его диссоциация с образованием сложного полимерного органического катиона. В основе теории действия полиэлектролита на глинистые частицы лежит принцип адсорбции макромолекул на поверхности твердых частиц.

Таким образом, введенный раствор полиэлектролита изменяет структуру укрепляемого грунта. При такой структуре грунт имеет большую дисперсность и однородность, способствуя тем самым равномерному распределению вяжущего в системе цемент – грунт, что является важным условием формирования прочной однородной кристаллической структуры цементогрунта.

Если использовать правильное соотношение портландцемента, глиняных частиц и полиДМДААХа, будут наблюдаться улучшения в ряде показателей:

прочность, морозостойкость и другие. При этом состоит отметить, что избыток полиДМДААХа будет отрицательно влиять на прочность грунта, его износостойкость и другие параметры. [4]

Метод стабилизации грунта.

Стабилизация грунта – это процесс подготовки подстилающего грунта для обеспечения более высокой устойчивости дороги под нагрузкой, чтобы она могла лучше выдерживать сильные нагрузки транспортного движения. Стабилизация включает тщательное измельчение и смешивание грунта с соответствующими связующими материалами для того, чтобы после качественного уплотнения и затвердевания грунт стал более плотным (прочным) и обеспечивал более крепкую основу. Хорошая стабилизация подстилающего грунта, и соответствующее уплотнение грунта являются залогом надежности и долговечности законченного проекта. Одним из факторов, влияющих на успех работы, является то, что дорожное покрытие станет более устойчивым к погодным условиям и морозу. Методы стабилизации дают такие же результаты, как в случае с восстановлением старых, пришедших в негодность дорог, взлетно-посадочных полос или площадок для автомобильных парковок.

Современное оборудование позволяет эффективно проводить стабилизацию грунта непосредственно на месте на глубину до 50 см за один рабочий проход с большой точностью дозировки вяжущих материалов.

Основным рабочим органом холодных ресайклеров является фрезерно-смесительный барабан с большим количеством специальных резцов. Вращаясь, обычно против направления движения машины, он разрушает и измельчает материал дорожной одежды. При движении машины с вращающимся фрезерно-смесительным барабаном в его смесительную камеру впрыскивается вода, подаваемая из автоцистерны по гибкому шлангу. Количество воды точно дозируется насосом с микропроцессорным управлением, вращающийся барабан хорошо перемешивает ее с материалом, измельченным фрезерным барабаном, чтобы влажность получаемой смеси была оптимальна для ее уплотнения.

Жидкие вяжущие, такие как цементно-водная суспензия или битумная эмульсия, отдельно друг от друга или в их комбинации могут быть также добавлены непосредственно в смесительную камеру таким же способом. Порошкообразные вяжущие, например, гашеная известь или цемент обычно распределяются перед ресайклером слоем, наносимым на поверхность существующей дороги. Ресайклер, фрезеруя существующую дорожную одежду вместе с порошковым вяжущим, за один проход перемешивает его с измельченным материалом и добавляемой водой [3].

Заключение.

В настоящее время имеются эффективные машинные комплексы по смешиванию грунтов с добавлением цементной составляющей, как в верхних слоях дорожной конструкции, так и в слоях основания.

При этом все основные методики разработаны на основе готового портландцемента, что приравнивает данные методы укрепления с возведением дорожного покрытия с использованием привозных инертных материалов с экономической точки зрения.

Замещение портландцемента на иной материал с цементирующими свойствами, являющийся сырьем или отходом промышленности, является актуальным направлением для исследования.

Библиографический список

1. Буланов П.Е. Модификация укрепленных портландцементом глинистых грунтов для дорожных одежд комплексной гидрофобно-пластифицирующей добавкой: автореферат дис. ... кандидата технических наук: 05.23.05. – Казань.: 2017. – 20 с.
2. Вязов А.Ю. Цементация грунтов в Воронежской области/ А. Ю. Вязов// Научный вестник Воронежского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Студент и наука.: 2015. - № 8. - С. 260-265.
3. Технология стабилизации грунтов: <https://pkfsb.com/tehnologiya-stabilizacii-gruntov/> [дата обращения: 24.03.2022].
4. Чудинов С. А. Укрепленные грунты в строительстве лесовозных автомобильных дорог: монография/ С. А. Чудинов - Екатеринбург.: УГЛТУ, 2020. - 174 с.
5. Салминен Э. О. Лесные дороги. Справочник: справочник / Э. О. Салминен, Г. А. Бессараб, А. А. Борозна [и др.]. - Санкт-Петербург.: Лань: 2021. - 496 с.

Сведения об авторах

ФИО	Артемьев В.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2826-8170
e-mail	artemev.vladislav@gmail.com

ФИО	Филиппов Р.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	vtkglt@mail.ru

Аннотация

В статье рассматриваются методы укрепления грунтовых дорог с помощью цементных составов. Все основные методики разработаны на основе готового

портландцемента. Замещение портландцемента на иной материал с цементирующими свойствами, являющийся сырьем или отходом промышленности, является актуальным направлением для исследования.

Ключевые слова: укрепление грунтов, цементные составы, минеральные вяжущие; soil strengthening, cement compositions, mineral binders.

УДК 624.138

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15

Использование пластиковых дорожных плит для зимней лесовозной дороги

Зубова О.В., Павлов И.А.

Введение.

В настоящее время в Российской Федерации, как и во все мире существует проблема нецелесообразной утилизации отработанного пластика, при том, что крайне разумной является возможность его переработки и вторичного использования для строительства временных лесовозных дорог, в том числе и для покрытия дорог в зимнее время.

Состояние вопроса исследования.

Идея создания пластиковых плит не нова. Уже много лет в России в военном деле используются переносные дороги. Такая дорога устойчива к тяжелой технике и артиллерии. Пластиковые дорожные модули с антискользящим покрытием производятся на заводе стеклопластика ОАО «Тверьстеклопластик», который входит в ГК «Рускомполит» в г. Тверь. Технология широко используется армией. Они используются для прохождения болотистых участков пути. Плиты мобильные, не полые и крепятся между собой замковой системой «штырь-отверстие». После проезда транспорта плиты демонтируются и используются повторно.

Такие дороги также часто используются при строительстве газо- или нефтепроводов в зоне вечной мерзлоты, на заболоченных местностях, в тайге, лесотундре или тундре. Недавно ГК «Рускомполит» подала заявку на получение патента в изготовлении «пластиковой» дороги для массового пользования в Росавтодор. Гражданский проект в Росавтодоре широкого использования в «масштабах страны» пока рассматривается на бумаге. На это существует ряд причин. Самая основная причина – финансирование, которого порой не хватает даже на обычный ямочный ремонт. Также для внедрения нововведения нужно большое количество вторичного полимера, но пока массовая сортировка и сборка отходов окончательно не налажена. И третья причина – это длительная подготовка нормативно-правовой базы (ГОСТы, сертификаты, СНиПы), с

испытанием дорожного полотна в стране в конкретных климатических условиях. Скорее всего, будет возможно изготовление пластиковых тротуаров, пластиковой дорожной плитки или бордюров.

Дорожное покрытие из пластика – это инновационный пилотный проект, позволяющий существенно улучшить экологию и состояние дорожного покрытия. Вполне возможно, что в ближайшее столетие такие дороги вытеснят обычные асфальтобетонные покрытия и тротуары.

Дорожное покрытие из пластика обладает следующими достоинствами:

- низкая стоимость,
- высокие темпы производства,
- утилизация мусора в окружающей среде,
- плотность, износостойкость, стойкость к перепадам температур,
- легкость в уходе, долговечность,
- монтаж подземных коммуникаций,
- сокращение выбросов углекислого газа в атмосферу при монтаже.

Создаются такие плиты из дешевого сырья: вторичный пластик и мусор.

Монтаж предполагается проводить на песчаном слое замковой системой, причем сроки изготовления сокращаются по сравнению с традиционными дорожными покрытиями.

Благодаря малому весу модули можно будет легко транспортировать и монтировать на любой тип грунта. Под весом плиты грунт не проседает, форма плиты позволяет равномерно распределить нагрузку на большую площадь, что дает возможность выдержать нагрузки грузового транспорта и интенсивный поток участников дорожного движения.

Такая дорога способна выдержать перепады температур от -40 градусов до +80 градусов, воздействие химических реагентов и не сможет аккумулировать тепло. Строительство такой дороги возможно в жарких и холодных странах.

Предполагается, что срок эксплуатации дорог пластикового типа увеличится на 30-40% по сравнению с обычными магистралями. Дороги из пластиковых плит станут менее чувствительны к образованию ям и сколов, коррозии. Немаловажным является тот факт, когда дорожный модуль изнашивается его можно отправить в повторную переработку.

К предполагаемым минусам, которые останавливают производство дорог пластикового типа, можно отнести:

- скольжение во время дождя и других осадков,
- горизонтальные сдвиги при эксплуатации.

При попадании воды на пластик сила трения уменьшается. Для решения проблемы возможно будут добавляться дополнительные компоненты в виде

гравия. Проблема горизонтальных сдвигов должна решаться правильным монтажом в основание и качеством замковых соединений.

Применение на зимних лесовозных дорогах. Зимнее содержание лесовозных дорог представляет собой комплекс работ, обеспечивающих непрерывное поддержание технического и эксплуатационного состояния дорожной сети на уровне нормативных требований в соответствии с требованиями ГОСТ Р 50597-93.

К основным транспортно-эксплуатационным показателям (ТЭП) зимних лесовозных автомобильных дорог, работающих с сохранением уплотненного слоя снега, можно отнести: толщину уплотненного снежного покрова, плотность слоя, глубину колеи, ровность слоя, коэффициент сцепления лесовозных автомобилей с поверхностью покрытия, а также уровень эксплуатационного состояния.

Высокого качества перечисленных показателей можно добиться при уплотнении снежных и намораживании ледяных покрытий, специальной обработке для повышения сцепления, однако нестабильные зимы Северо-Западного региона с большим количеством оттепелей не дают гарантии долгой эксплуатации такой дороги и отнюдь не гарантируют, что весь вырубленный на труднодоступной лесосеке лес будет вывезен в течение сезона. Т.е., каждую весну перед заготовителями остро стоит вопрос продления службы зимней дороги. Нам представляется, что покрытие снежно-уплотненной дороги пластиковыми плитами может привести к меньшему разрушению покрытия и к отсрочке процесса таяния снега под плитой. Таким образом универсальное вторично используемое покрытие из пластиковых плит может служить не только на летних, но и на зимних дорогах, т.е. эксплуатироваться все сезонно.

Плюсы данных пластиковых плит заключается в экологичности, низкой стоимости, быстром ремонте и высокой морозостойкости.

Библиографический список

1. И. А. Афанасьев, И. Н. Кручинин. Зимнее содержание лесовозных автомобильных дорог Уральского региона . Изд-во Перм.гос.техн.ун-та, 2006. – 135 с.
2. А. П. Васильев, В. М. Сиденко ; Эксплуатация автомобильных дорог и организация дорожного движения. М.:Транспорт, 1990. – 230 с.
3. А. П. Васильев, В. М. Сиденко ; ВСН 137-89. Проектирование, строительство и содержание зимних автомобильных дорог в условиях Сибири и северо-востока СССР/Введ.1990.01.01.– М.:Транспорт,1991.–157с.
4. Дюнин, А. К. В царстве снега–Новосибирск : Наука, 1983. – 128 с.
5. Кручинин, И. Н. Транспортно-производственная система лесного комплекса : моногр. – Екатеринбург, 2010 – 155 с.
6. И. Н. Кручинин, С. И. Кручинин, С. И. Булдаков; Патент на изобретение 83073 РФ, МПК7 Е 01 Н 4/00. Устройство для формирования снежного наката на автомобильной дороге; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО Уральский государственный лесотехнический университет. – No 2008141121/22; заявл. 16.10.2008; опубл. 20.05.2009, Бюл. No 14. – 1 с. : ил.
7. Olander, J. Winter Index by using RWI and MESAN// XI International Winter Road Congress, Sapporo, Japan, 28-31 January 2002. – Sapporo, 2002.

8. S. Proskin.. Guidance on the construction and operation of the winter roads, Transport Association of Canada/ Canada, 2011.
9. P. W. Richmond, G. L. Blaisdell, C. E. Green. Wheels and tracks in snow: Second validation study of the CRREL shallow snow mobility model // Cold Regions Research and Engineering Laboratory, CRREL, 1997. – Report 90-13. – Available at: <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a232866.pdf>.
10. D. S. Russell-Head, W. F. Budd, P. J. Moore. Condensed snow as a sidewalk material for the construction of a runway// The cold regions of science and technology. – 1984. – No. 9. – P. 231-247.
11. Shoop S. A. Finite element modeling of tire-terrain interaction : PhD dissertation, University of Michigan and ERDC // CRREL Technical Report 01–16. – 2001. – 210 p.

Сведения об авторах

ФИО	Зубова Оксана Викторовна
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	Павлов И.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2608-2312
e-mail	Neol127@mail.ru

Аннотация

В данной статье проведен анализ эффективности применения пластиковых дорожных плит в лесном дорожном строительстве при неблагоприятных климатических и грунтово-гидрологических условиях, а также с учетом высоких динамических нагрузок, рассмотрена возможность использования конструкции для зимней лесовозной дороги.

Ключевые слова: пластиковые дорожные плиты, зимняя лесовозная дорога.

УДК 630.383

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15

Особенности перехода лесозаготовительной отрасли на ФГИС ЛК

Зубова О.В., Новиков Д.Е., Мартынюк А.С.

Введение.

На данный момент в России действует система ЛесЕГАИС (Единая государственная автоматизированная информационная система учёта древесины

и сделок с ней), которая предназначена для отслеживания и учёта заготовки и поставок древесины. Она собирает всю информацию о лицах, осуществляющих заготовку древесины, договорах аренды пользования, лесных декларациях и т. д. Цель данной системы – проследить за всеми этапами, которые проходит древесина, чтобы исключить реализацию нелегальной древесины.

Данная система не является идеальной для лесозаготовителей. Большинство крупных игроков рынка в ходе тестирования выявили множество ошибок и недоработок, которые препятствуют нормальной работе. Например, Группа «Илим» при тестировании выявила проблему синхронизации баз данных, действующей и «модернизированной» систем. Так же есть проблема со стороны разработчиков – отсутствие технических требований к оборудованию, на которых работает система, что мешает компаниям лесозаготовителям закупить технику и обучить персонал. Это лишь малая часть тех проблем, которые смогли выявить, но их гораздо больше.

Состояние вопроса исследования.

Федеральная государственная информационная система лесного комплекса (ФГИС ЛК) – это новая ступень цифровой трансформации ЛесЕГАИС, которая должна решить конечно не все проблемы, но большинство, так как идеально работающих систем не бывает. Сейчас идёт активная разработка системы. Создатели обдумывают, как будут взаимодействовать все пользователи, оптимизировать все процессы, связанные с оформлением документов и максимально освободить время на реальную работу в лесу. Куратором данной системы является Федеральное агентство лесного хозяйства (Рослесхоз).

В новой системе в первую очередь будут запущены следующие подсистемы:

- подсистема учета лесов (ПУЛ);
- подсистема использования лесов (ПИЛ);
- подсистема охраны, защиты и воспроизводства лесов (ПОЗВЛ);
- подсистема лесных карт (ПЛК);
- подсистема учета документов (ПУД);
- подсистема приема и обработки документов (ППОД);
- подсистема внешнего взаимодействия (ПВВ);
- подсистема внутреннего взаимодействия (ПВ);
- подсистема управления нормативно-справочной информацией (ПНСИ);
- подсистема обработки пространственных данных (ПОПД);
- подсистема управления процессами (ПУП);
- подсистема хранения данных (ПХД);
- подсистема интеллектуального анализа (ПИА);
- подсистема информационной безопасности (ПИБ);

— подсистема администрирования и мониторинга (ПАМ).

Из данного списка видно, что обновление будет крупномасштабное, а значит по идее лесозаготовителям будет нелегко с ходу понять, как взаимодействовать с этим.

Подготовительные исследовательские работы проведены в шести субъектах России: Московской, Архангельской, Ленинградской областях, Хабаровском, Красноярском и Пермском краях. Также в исследовании приняли участие специалисты региональных органов государственной власти, уполномоченных в области лесных отношений, сотрудники территориальных филиалов «Рослесинфорга» и «Рослесозащиты», представители лесозаготовительного и лесоперерабатывающего бизнеса.

Переход на данную систему рассчитан в 2025 году. Отраслевые специалисты надеются, что систему смогу привести в порядок к началу перехода и обязательно учтут все недочеты текущей системы, чтобы работа с ней была более комфортной.

Одной из ключевых проблем ныне действующей ЛесЕГАИС, грозящей перейти в планируемую ФГИС ЛК, является устаревшая и недостоверная таксационная информация. Таксация, проводимая предприятиями, не всегда признается местными органами власти, поэтому повсеместно существует как проблема недорубов, так и перерубов, которые невозможно отразить в ЛесЕГАИС.

Одним из вариантов решения данной проблемы является разработанная в Пермском крае система «Умный лес».

РГИС (региональная государственная информационная система) «Умный лес» будет представлять единую централизованную систему, состоящую из набора функциональных и технологических подсистем, обеспечивающих процессы сбора, обработки, хранения и представления информации. Ее назначение – оперативное отслеживание с помощью данных космического мониторинга за текущим состоянием лесфонда и фиксация происходящих изменений, а также и упрощение процедуры документооборота, связанного с оформлением/продлением срока действия лесных деклараций, арендных платежей, заключений госэкспертизы проектов освоения лесов и иных документов. Благодаря системе «Умный лес» вся актуальная информация будет собрана в одном месте – личном кабинете лесопользователя – и отображаться в режиме реального времени. Многие процедуры, регламентированные Лесным Кодексом РФ, станут возможным осуществлять в электронном формате в режиме «онлайн».

«Умный лес» проходит опытную эксплуатацию на лесоперерабатывающих предприятиях Прикамья – «Пермская целлюлозно-бумажная компания» и «Красный Октябрь».

Сегодня в РГИС «Умный лес» уже функционируют подсистемы первой очереди: «Учёт лесного фонда», «Лесопользование» и «Администрирование платежей», «Личный кабинет лесопользователя». Они позволяют решать вопросы по организации и контролю сбора платежей за использование лесных ресурсов, автоматизируют функции сотрудников органов госвласти по учету лесного фонда, а также пользователь может оформить необходимые документы (например, лесную декларацию) и планировать, в том числе с помощью карты, лесохозяйственные мероприятия, организацию лесных дорог, мест складирования древесины, логистику.

Сейчас в разработке находятся подсистемы второй очереди («Претензионно-исковая работа», «Мониторинг вырубок»). Одно из перспективных направлений «Умного леса» — расширение функционала спутникового мониторинга вырубки леса на всей территории лесного фонда Пермского края, в том числе автоматическое выявление незаконных рубок на основе спутниковых данных

Одним из последних нововведений стала нейросеть, разработанная компанией «ИнноГеоТех» и университетом «Иннополис». Система распознает до 100 объектов за 10 минут. Сервис разработан в рамках платформы, где также реализованы алгоритмы по распознаванию карьеров, вырубок, гарей, участков используемой пашни, участков леса с помощью технологий машинного обучения и компьютерного зрения. Нейронные сети анализируют спутниковые снимки и материалы аэрофотосъемки, после чего информацию можно сравнить с отраслевыми сведениями. Полученные данные анализирует оператор, который подтверждает обнаруженные нарушения или проводит дополнительную проверку. До внедрения искусственного интеллекта весь процесс проводился вручную.

Заключение.

В современных условиях применение цифровых и сквозных технологий облегчает рутинные процессы во многих областях жизнедеятельности. Лесная отрасль как одна из наиболее трудоемких должна внедрять современные разработки для таких насущных проблем, какой в том числе является лесоустройство и таксация. Для успешного внедрения самых передовых технологий требуются управленческие решения на государственном уровне.

Библиографический список

1. Интернет-издание о высоких технологиях CNEWS https://www.cnews.ru/news/top/2022-02-11_v_rossii_nachali_stroit_mnogomilliardnyuu/ [дата обращения: 28.04.2022]

2. Новостной портал Коммерсантъ <https://www.kommersant.ru/doc/5152753?> [дата обращения: 28.04.2022]
3. Интернет-журнал «Лесозаготовка. Бизнес и профессия» <https://lesozagotovka.com/rybriki/les-i-zakon/ot-lesegais-do-fgis-lk-vykhodim-na-novyy-uroven/?> [дата обращения: 28.04.2022]
4. Новостной портал города Перми «Новый компаньон» <https://www.newsko.ru/articles/nk-6387734.html> [дата обращения: 28.04.2022]
5. Сайт пермской целлюлозно-бумажной компании <https://clck.ru/ghNxd> [дата обращения: 28.04.2022]

Сведения об авторах

ФИО Зубова Оксана Викторовна
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 Новиков Д.Е.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail novikovdeniz@icloud.com

ФИО Мартынюк А.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 antonm2001@mail.ru

Аннотация

В данной статье приведен краткий анализ существующих проблем в системах учета лесоматериалов, рассмотрены тенденции развития цифровой платформы ЛесЕГАИС, ее переход в систему ФГИС ЛК с расширенным функционалом, а также предложены пути решения ключевых проблем в данном направлении на примере разработки цифровой системы «Умный лес».

Ключевые слова: ЛесЕГАИС, ФГИС ЛК, система «Умный лес», цифровые технологии в ЛК.

УДК 630.383

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15

Экологическая безопасность лесных машин и методы их обеспечения

**Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.,
Спиридонов С.В., Дубровин Д.Е., Михайлов О.А.**

Введение

В настоящее время борьба с загрязнением атмосферы токсичными веществами является одной из наиболее острых проблем [2]. Разработаны и введены в действие государственные и отраслевые стандарты, регламентирующие содержание СО на транспорте [8], нормы и методы определения токсичных выбросов СО, СН, NO_x, дымности двигателей внутреннего сгорания (ДВС) [6], технические условия на катализаторы окисления СО [12].

Большинство зарубежных фирм для снижения вредных выбросов двигателями внутреннего сгорания [15] применяют съемные нейтрализаторы. При таком подходе проблема сжигания топлива не затрагивается, а она имеет принципиальное значение [14].

Методы исследования

Химическая энергия топлива преобразуется в тепловую посредством горения [13], при котором реагенты энергоносителя соединяются с кислородом. При горении топлива горючие элементы взаимодействуют с окислителем, т.е. с кислородом и образуются соответствующие окислы CO₂, SO₂, H₂O.



Так как окисление идет в основном за счет кислорода, содержащегося в воздухе, то в продуктах сгорания кроме указанных окислов есть и азот, входящий ранее в воздух [4]. В продуктах окислительных реакций содержатся токсичные компоненты – промежуточные соединения сложных цепных реакций: окись углерода, не сгоревшие углеводороды, в том числе и кислородсодержащие (альдегиды), сажа (твердый фильтрат), преимущественно состоящий из твердого углерода, выбрасываемого двигателями внутреннего сгорания в составе отработавших газов. Отработавшие газы разбавляются побочными продуктами горения – окислами азота, соединениями кислорода и водорода с серой, содержащимися в топливах нефтяного происхождения, некоторыми химическими элементами входящими в состав присадок к энергоносителям и маслам [3]. Поэтому осуществить процесс горения до конца, до конечных продуктов (CO₂, H₂O) технологически сложно [5].

Определяющим источником токсичных веществ являются отработавшие газы ДВС (95% СО, 55% СН, 98% O_x), картерные газы (5% СО, 5% СН, 2% NO_x),

топливные испарения (40% СН). При полном сгорании топлива образуются только продукты полного окисления горючих элементов CO_2 , SO_2 , H_2O и азот воздуха N_2 . Процесс горения протекает по цепному механизму реакций и сопровождается диссоциацией конечных и промежуточных продуктов []. Появление окиси углерода можно объяснить следующими причинами: несовершенством смесеобразования, незначительной продолжительностью процесса горения топлива, разбавлением смеси CO после прохождения по заряду горячего пламени, горением сажи, диффузионным горением отдельных капель топлива [11]. Образовавшаяся CO частично может доокисляться в цилиндрах за счет кислорода воздуха и произойдет догорание CO и H_2



Наряду с продуктами неполного сгорания топлива отработавший газ разбавляется испаряющимися фракциями смазочного масла [7]. Опыты показывают, что до 45% расходуемого двигателем масла уносятся с ОГ в парообразном и капельном состоянии. При работе двигателя смазочное масло окисляется [9]. Во взаимодействии с кислородом легче вступают ароматические углеводороды (алканы). Процесс окисления носит цепной характер, появляются промежуточные продукты (альдегиды, фенолы, смолы), не вступающие в реакции и дающие лак, нагар и осадки в масле. Стабилизация физико-химических свойств масел возможна при воздействии ингибиторов старения масел и внедрения самоорганизующихся процессов в систему смазки [3].

Результаты исследования

Испытание постоянно действующих трибохимического режима в смазочных системах ДВС обеспечило стабилизацию физико-химических свойств масел, снижение токсичных выбросов в составе ОГ в атмосферу [10]. Применение присадок к смазочным материалам на основе металлоорганических соединений позволило снизить зольность, механические примеси в масле ДВС в 1.6-1.9 раза, стабилизировать физико-химические свойства и увеличить срок службы масла [4]. Эффект вводимых в смазочные материалы присадок, содержащих металлокомплексы, обусловлен участием этих комплексов в сложном процессе формирования металлоплакирующей пленки на поверхностях трения за счет трибофизических и трибохимических превращений в зоне фрикционного контакта, сокращением расхода масла на угар, увеличением компрессии в цилиндрах двигателя на 12-37%.

Сажа содержится главным образом в ОГ дизельных двигателей внутреннего сгорания, образуется на стадии воспламенения топлива и в процессе основного горения, во время переходных режимов при повышении нагрузки из-за

охлаждающего эффекта капель топлива и стенок камеры сгорания на температуру пламени. При недостатке кислорода сажи в ОГ может и не быть, если углерод успеет сгореть в пламени и продуктом диссоциации CO_2 явится CO . В то же время ОГ могут иметь черный цвет при общем избытке кислорода, при условиях, когда скорость диффузии O_2 к молекулам топлива меньше скорости теплового распада углеводородов [11]. Количество сажи в ОГ обуславливается в основном неравномерностью в макрораспределении распыленного топлива в объеме камеры сгорания в процессе распространения турбулентного пламени по гетерогенному заряду, диффузионным горением последних капель топлива, скоростью выгорания сажевых частиц [5]. В двигателях образуется окись азота NO , доокисляющаяся до двуокиси NO_2 и ее полимера N_2O_4 . При горении бедных сухих смесей на количество образующейся No_x может оказывать влияние небольшая присадка с CO паров воды. При сгорании топлив богатых углеводородами с низкими избытками воздуха и контактом топлива с воздухом, в продуктах сгорания обнаруживаются токсичные тяжелые углеводороды. Использование водоземulsionных топливных смесей позволило снизить вредные выбросы в атмосферу сажи, окиси углерода, окиси азота, метана, бензопирена. При этом в составе отходящих газов полностью исчезает группа тяжелых углеводородов, выбросы окислов углерода (C_xO_y) и окислов азота (N O_x) сокращается в 10 раз, углеводородов (C_xH_y) – в 15 раз, сажи – в 5 раз [13].

Эффективным методом снижения токсичных выбросов ДВС является перевод их на газообразное топливо. Высокая временная и пространственная однородность горючей смеси у газовых двигателей, лучшее ее распределение по цилиндрам обеспечивает более полное сгорание топлива и минимально возможное содержание токсичных веществ в продуктах сгорания [12].

Перевод парка лесных машин на дешевое газообразное топливо из древесных отходов позволит снизить эксплуатационные расходы, комплексно использовать лесные ресурсы [3].

Заключение

1. При формировании системы лесосечных машин из энергетических, технологических и лесотранспортных модулей повысить их социальный и экологический эффект возможно при совершенствовании системы сгорания топлива – перевода жидкого топлива в газообразное состояние, полном его сжигании и регулировании этого процесса.

2. Перевод энергетических систем на генераторный газ на первом этапе в стационарных условиях для тепло- и энергоснабжения обеспечит их экологическую совместимость с окружающей средой, повышение эффективности и снижение энергоемкости технологических процессов лесного

комплекса при использовании вторичных ресурсов (древесных отходов) в качестве топлива.

Библиографический список

1. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Вишнев Д.В. Перспективные направления развития методов диагностирования систем и механизмов двигателей внутреннего сгорания // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 684-691.
2. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе // 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., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В. Основные показатели технического уровня лесных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 662-667
4. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С. Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 639-646.
5. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А. Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 712-718.
6. Мартынов Б.Г., Козьмин С.Ф., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В. Техническая эксплуатация лесозаготовительных машин: учебное пособие для самостоятельной работы студентов всех форм обучения направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и комплексы» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021.– 116 с.
7. 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.
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. Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Романов С.В. Применение двигателей постоянной мощности на трелевочных тракторах и их влияние на тяговые показатели // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 691-700.
10. Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Давыденко С.В. Обоснование диагностических параметров тормозной системы автомобиля // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 706-712.
11. Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С. Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 633-639.
12. Churakov, A.V., Pushkov, Yu.L., A.S. Krivonogova, Sokolova, V.A., Markov, V.A. Diagnostics of fuel efficiency indicators of internal combustion engines in the logging industry // IOP Conference Series:

- Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012019.
13. Pushkov, Yu.L., Churakov, A.V., Sokolova, A.S. Krivonogova, V.A., Parfenopulo, G.K. Methods of simplification and reduction of the dynamic system «engine-transmission tractor pack of wood» of tracked skidding tractors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012018.
 14. Remshev E.Yu., Voinash S.A., Kokieva G.E., Teterina I.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Pushkov Yu.L. Development of a methodology for evaluating the operational properties of elastic elements for various purposes by acoustic emission // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 919 (3), 2020 – p. 32007.
 15. Rogovskii I.L., Titova L.L., Voinash S.A., Sokolova V.A., Pushkov Yu.L., Krivonogova A.S., Kokieva G.E. Modeling the distribution of internal stresses in surface strengthened layer of steel parts after cementation and hardening // Journal of Physics: Conference Series – Krasnoyarsk, Russian Federation. № 1679 (4), 2020 – p. 42069.

Сведения об авторах

ФИО Кривоногова Александра Станиславовна
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 Пушкин Юрий Леонидович
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 Спиридонов Сергей Васильевич
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 Дубровин Д.Е.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код —
e-mail danich.02@yandex.ru

ФИО Михайлов Олег Андреевич
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

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы экологической совместимости лесных машин с окружающей средой. Определены основные источники загрязнения окружающей среды и даны рекомендации по снижению выбросов отработанных газов.

Ключевые слова: отработанные газы, токсичность, окружающая среда, альтернативные источники.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15, 66.17.99

Современные методы очистки воды в акватории рейдов приплава

Тукк Д.П., Калистратов А.В.

Введение.

В процессе лесозаготовки транспортировка леса от мест заготовки до мест переработки является одним из важных элементов. Существуют разные варианты транспортировки лесоматериалов, одним из которых является перевозка водным транспортом. Этот вариант доставки древесины является незаменимым в регионах с недостаточно развитой инфраструктурой, малоосвоенных районах, недоступных для железнодорожного или автомобильного транспорта. При всех достоинствах водного транспорта леса, доля его невелика, так как существенным недостатком данного вида является то, что использовать водные пути возможно только в ограниченный период, когда вода не замерзает и не покрывается льдом.

Основной составляющей водного транспорта леса является лесосплав, при котором используются свойства плавучести древесины.

При всех видах лесосплава древесина находится в воде значительное время. Общее время пребывания древесины в воде может составлять более месяца, большую часть из которого составляет нахождение на рейде.

Рейды приплава предназначены для приёма, хранения и подготовки древесины к выгрузке. Площадь акватории рейдов приплава зависит от грузооборота и варьируется от 80 до 270 м² на 1000 м³ сплаваемого леса.

При нахождении древесины в воде происходит переход компонентов древесины в воду, тем самым осуществляя ее загрязнение.

Загрязняющие вещества, в первую очередь низкомолекулярные гемицеллюлозы, быстро разлагаются микроорганизмами, что приводит к повышению биологического потребления кислорода воды (БПК), ухудшению кислородного режима водных объектов, постепенному истощению водных биоресурсов.

Вредные вещества также накапливаются в донных отложениях, сорбируются водной растительностью, аккумулируются гидробионтами, некоторые из них трансформируются в более опасные и токсичные соединения, создавая очаги вторичного загрязнения.

В воду из древесины может переходить большое количество входящих в ее состав компонентов (до 15 % при гидротермической обработке древесины) [2].

В первую очередь в водную среду переходят органические легко летучие компоненты, а также продукты деструкции и трансформации древесных полимеров, в частности лигнина.

Согласно ГОСТ 17.1.3.01-76 [1], лесосплавающие организации обязаны проводить мероприятия, предотвращающие засорения водных объектов и влияния на их гидрохимический режим экстрагируемых из древесины веществ.

Для предотвращения загрязнения водных объектов при лесосплаве предлагается проводить очистку воды на рейдах приплава. Проведя расчет загрязнений, которые могут попасть в конкретную реку за весь период нахождения древесины в воде, исходя из конкретного грузооборота, можно дать их количественную оценку и подобрать методику очистки водного объекта, тем самым устранив негативные последствия лесосплава для окружающей среды. Очищенная вода сбрасывается обратно в реку, а уловленные загрязнения подлежат утилизации.

Очистка воды представляет совокупность различных методов, позволяющих последовательно очистить воду от крупных примесей (кора и другой сор), тяжелых примесей (песок), коллоидных и растворенных органических загрязнений.

Механическая очистка применяется для удаления нерастворимых минеральных и органических примесей путем их фильтрования или осаждения. Для этого вида очистки используют различные решётки или сита.

Эффективность механической очистки на решетках зависит от расстояния между прутьями решетки (прозор):

- предварительно грубоесороудаление (расстояние свыше 40 мм);
- среднее сороудаление (расстояние от 40 до 10 мм);
- тонкое сороудаление (расстояние от 10 до 6 мм);
- процеживание (расстояние от 6 до 0,5 мм).

Современные решетки оборудованы системой автоматической чистки и промывки, компактны, надёжны и просты в эксплуатации.

Кроме механических решеток в некоторых случаях можно также использовать сита с меньшими отверстиями. Рабочими элементами сит являются перфорированные листы или сетки. Размер отверстий может составлять от 0,15 до 2 мм [3].

Для извлечения тяжелых примесей (песка) возможно применение песколовков (горизонтальные, с круговым движением воды и аэрируемые). Разные виды песколовков могут задерживать песок разной крупности. Песок можно также удалять в гидроциклонах.

Физико-химическая очистка сточных вод используется для удаления плохо растворимых и взвешенных примесей.

Для очистки органических компонентов предлагается физико-химическая очистка методом напорной флотации.

Метод напорной флотации основан на насыщении воздухом части осветленной воды при давлении 6 атм. и ее смешении с очищаемой водой во флотационной установке [3]. Декомпрессия приводит к образованию микропузырьков воздуха, которые прилипают к веществам загрязнений и всплывают на поверхность, образуя флотошлам.

Флотошлам с поверхности собирается спиральным сборником. Скорость движения спирального сборника регулируется через частотный преобразователь двигателя в зависимости от количества флотошлама. Это позволяет поддерживать высокую концентрацию флотошлама, выводимого на утилизацию.

Для перевода мелкодисперсных и растворенных компонентов во взвешенное состояние в очищаемую воду подается коагулянт. Затем очищаемая вода обрабатывается флокулянтom и поступает на установку напорной флотации, оснащенную установкой насыщения воды воздухом. Уловленные загрязнения в виде флотошлама с концентрацией 3-5% направляются на утилизацию [4], а осветленная вода сбрасывается в реку.

Выбор метода очистки определяется для каждого конкретного случая индивидуально и может включать как один способ, так и несколько сразу. Установки водоочистки могут быть как стационарными и работать определенный период, так и передвижными и использоваться в период лесосплава поочередно на нескольких рейдах приплава.

Заключение.

Негативное воздействие на водную среду при лесосплаве должно быть сведено к минимуму. Количество загрязнений, попадающих в водные объекты при сплаве и на рейде приплава, можно извлекать при применении современных методов очистки, которые подбираются индивидуально для каждого случая.

Библиографический список

1. ГОСТ 17.1.3.01-76 Охрана природы. Гидросфера. Правила охраны водных объектов при лесосплаве – URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200008293> (Дата обращения: 08.04.2022)
2. Карюхина Т. А., Чурбанова И. Н. «Химия воды и микробиология.» / Учебник для техникумов. М., Стройиздат, 1974 – 156-159 с
3. Degremont. Технический справочник по обработке воды. В 2 томах. Том 2. / Новое издание, 2007 – 778-779 с.
4. Дягилев А.Б., Лоренцсон А. В., Чернобережский Ю.М. «Технология основных производств и промышленная экология»: Учеб. пособие. / Под ред. Ю.М. Чернобережского, ГОУ ВПО СПб ГТУ РП. СПб., 2004. Часть 2. – 89 с.

Сведения об авторах

ФИО	Тукк Д.П.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	tukkda19@gmail.com

ФИО	Калистратов Александр Викторович
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

В статье описано воздействие водного транспорта леса на загрязнение водных объектов. Рассмотрены методы очистки воды от различных типов примесей.

Ключевые слова: водный транспорт леса, рейды приплава, загрязнения водных объектов, методы очистки воды.

УДК 630.378.3

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.17

Актуальность возобновления молевого лесосплава

Чистякова К.А., Калистратов А.В.

Введение. Лесосплав – вид транспортировки леса по воде, при котором используется плавучесть дерева. Лесосплав – это процесс, который входит в состав лесозаготовительных работ и имеет цель доставку заготовленных лесоматериалов в пункты потребления или перевалки их на другие виды транспорта. Лесосплав различают молевой (россыпью), плотовой, кошельный и в сплоточных единицах. Молевой сплав – транспортировка древесины по рекам, обычно некрупным и не судоходным, без увязки ее в плоты, россыпью по течению, со сбором плывущих бревен в нижней точке сплава.

В СССР ежегодно сплавливалось примерно 105-120 млн. м³ древесины. Сплавные пути СССР имели общую протяженность 125 тыс. км. При этом протяженность речных сплавных путей составляла 95%, а озерных 5%. Однако с середины 60-х годов 20 века началось сокращение объемов лесосплава в связи с природоохранными мероприятиями. Так в период с 1965 по 1990 года объем лесосплава сократился примерно в два с половиной раза со 124 млн. м³ до 54 млн. м³ [2]. В то время как в странах-лидерах по заготовке древесины, например, Канаде, общий объем сплавливаемой древесины за последние годы варьируется в пределах 15-25% от всего добываемого леса [7], в России эта цифра колеблется в районе 5%. В советский период объемы лесосплава доходили до 30%.

Одной из главных причин сокращения сплава леса в нашей стране является именно прекращение молевого сплава. В 1987 году было принято решение о поэтапном прекращении молевого сплава древесины - постановление Совмина РСФСР № 384 «О прекращении молевого сплава леса на реках и других водоемах РСФСР» [1]. Основной причиной запрета называли то, что при молевом сплаве значительная часть древесины терялась, застревала на отмелях и берегах, а также тонула, с чем был связан большой ущерб, причиняемый древесиной окружающей среде. В вышеуказанном постановлении Совмина говорилось, что «В результате воздействия молевого лесосплава и допускаемых при этом грубых нарушений водного законодательства резко снижается или полностью прекращается жизнедеятельность рек. Особенно большой ущерб наносится

рыбному хозяйству и питьевому водоснабжению. Даже после очистки воды качество ее не соответствует ГОСТу» [4].

В то же время запрет лесосплава оказался неоднозначным для многих ученых. Российский ихтиолог Николай Строганов уверен, что помимо вредных для окружающей среды химических соединений при лесосплаве выделяются вещества, служащие питанием для планктонных организмов, а те, в свою очередь, – еда для большинства речных рыб [6].

Также в 2007 году ученые из Центрального научно-исследовательского института лесосплава провели исследования, имея цель доказать, что лесосплав безопасен для экологии. Они проанализировали и сравнили химический состав воды сплавных рек и рек, по которым молевой сплав был прекращен. В своих исследованиях они пришли к выводу, что существенных различий между реками нет, а значит, доказать пагубное влияние лесосплава на качество воды нельзя. Исследователи уверены, если не нарушать технологию организации – не пренебрегать мелиорацией сплавных путей, установкой направляющих бонов и хорошо просушивать бревна во избежание потери плавучести – сплав леса никак не скажется на водном балансе водоемов.

Аргументом для возобновления молевого сплава может служить то, что одной из основных проблем лесозаготовительной индустрии в России на данный момент является состояние дорог, по которым передвигаются лесовозы. Следует отметить, что в некоторых областях России порог максимально возможного веса перевозимого груза повышен до 10 тонн, что существенно влияет на качество транспортных магистралей – дорожное полотно не выдерживает нагрузок и быстро приходит в негодность. Летом 2017 года один из крупнейших лесоперерабатывающих холдингов в Архангельской области, группа компаний «Титан», сделал заявление: архангельские дороги не могут справиться с объемами добытого леса, и «Титан» намерен возродить лесосплав. Также, существует ограничение веса транспортируемого груза для областных и районных дорог – не более 6,5 тонны в одном автомобиле. Исходя из этого, передвижение полностью загруженной машины возможно только на дорогах федерального значения.

Немаловажным фактором является экономическая составляющая доставки древесины. На 2020 год средняя себестоимость доставки леса с помощью автомобильного транспорта до нижнего склада в среднем равна 300 руб./м³. С учетом стоимости строительства лесной дороги и ее содержания себестоимость кубометра древесины возрастет еще на 75 руб./м³, следовательно стоимость кубометра может вырасти на 10,0 руб./км [8].

Возобновление молевого сплава по рекам России поможет разгрузить дороги, по которым передвигаются лесовозы, что выгодно с экономической

точки зрения, так как уменьшаются затраты на содержание и ремонт дорог. Кроме того снизятся затраты на транспортировку лесоматериалов поскольку самый дешевый вид транспорта для перевозки древесины – именно водный транспорт. Стоимость доставки кубометра древесины в сплотке в пересчете на цены 2020 г. – 0,9 руб./км, а молевым сплавом – 0,5 руб./км [3].

Заключение. Возобновление лесосплава молевым способом может стать решением множества современных проблем лесозаготовительной отрасли, в том числе сокращение нагрузки региональных дорог, улучшения качества окружающей среды и уменьшение стоимости доставки самой древесины.

Библиографический список

1. Постановление Совета Министров РСФСР от 25.09.1987 № 384 «О прекращении молевого сплава леса на реках и других водоемах РСФСР»
2. Транспорт леса. В 2 т. Т.2. Лесосплав и судовые перевозки: Учебник/ Овчинников М.М., Полищук В.П., Григорьев Г.В. – М.: Изд. центр «Академия», 2009 г.;
3. О применимости молевого сплава по малым рекам в современных условиях/ А.Ю. Виноградов, А.А. Ржавцев, И.В. Бачериков, С.В. Хвалев, В.А. Обязов, С.И. Сазонова, М.М. Кадацкая, Е.А. Парфенов, И.А. Виноградов
4. Юбилей нелепого решения// "Лесной Регион" №15(214), URL: <http://lesregion.ru/main/3312-yubiley-nelapogo-resheniya.html> — (дата обращения: 31.03.2022).
5. Есть ли перспектива у лесосплава?// "Лесной Регион" №09(227), URL: <http://lesregion.ru/main/3567-est-li-perspektiva-u-lesosplava.html> — (дата обращения: 31.03.2022).
6. Лес был, да сплыл// «Машины и механизмы» №147 URL: <https://21mm.ru/news/lichnost/les-byl-dasplyl/> — (дата обращения: 31.03.2022)
7. Canadian lumber exports by mode of transportation. — URL: <https://www150.statcan.gc.ca/t1/tb11/en/tv.action?pid=1610001801> — (дата обращения: 31.03.2022).
8. Доклад о стоимости строительства, реконструкции, капитального ремонта, ремонта и содержания 1 км автомобильных дорог общего пользования Российской Федерации (2018 год)— URL:<https://mintrans.gov.ru/documents/11/10433>— (дата обращения: 31.03.2022).

Сведения об авторах

ФИО	Чистякова К.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	zurajanai48@gmail.com
ФИО	Калистратов Александр Викторович
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

В статье рассматриваются причины прекращения молевого лесосплава, а также неоднозначность данного решения. Приведены мнения ученых, обозначены перспективы и эффект, который может принести возобновление данного вида лесосплава.

Ключевые слова: водный транспорт леса, молевой лесосплав.

УДК 630.378.3

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.17

Влияние погодных условий на логистические перевозки

Акулов М., Антонова Т.С.

Введение

В наши дни, логистика является неотъемлемой частью экономики не только в стране, но и во всем мире. Усовершенствование логистических перевозок является чуть ли не главной тенденцией мирового развития. Одним из методов оптимизации перевозок является учет важных факторов, влияющих на транспортный процесс, в том числе погодных условий.

В настоящее время около 50% людей проживают в больших городах. И с каждым годом эта цифра значительно стремится вверх. Из-за чего возникает вопрос: спрос на услуги растет, а инфраструктура отстает в развитии. В России с 2001 года по 2019 население страны осталось прежним, однако количество легковых автомобилей увеличилось больше в 2 раза (20.1 млн против 46.3 млн автомобилей) [1].

В Москве отставание в развитии дорожной сети от количества автомобилей составило около 30 лет (и это один из ведущих городов не только Европы, но и всего мира). Вопрос решаем с помощью системы умных дорог и умных автомобилей, датчиков вдоль дорог, а также систем глобального позиционирования. Однако каждый год мы возвращаемся к одной и той же проблеме – это погодные условия.

В наши дни все прекрасно знают о том, что от погоды во многом зависит скорость доставки тех или иных грузов. К примеру – если идет, снег или дождь, то скорость доставки того или иного груза довольно существенно снижается. В зимнее время, увеличивается количество аварий, время в пути из-за неубранных дорог, количество пробок и заторов (рис. 1), в горных районах возможен сход лавин. Общее влияние погодных условий на грузоперевозки автотранспортом не нужно недооценивать. Более 80% всей логистики в России осуществляется автомобилями, и все чаще отправители грузов отдают предпочтение именно

автотранспорту. Несмотря на преимущества автомобильного транспорта, у него имеются и недостатки, один из них зависимость от погодных условий.



Рисунок 1. Пробки на заснеженных дорогах

Для своевременной доставки груза потребителю необходимо учитывать большое количество факторов. Россия – страна, расположенная в трех климатических поясах, и чтобы не было досадных накладок, необходимо все это учитывать и планировать, учитывая прогнозы погоды и текущие условия.

При транспортировке различных грузов автотранспортом, можно рекомендовать распределять весь текущий груз между разными машинами. Все это позволит по максимуму исключить возможные проблемы с доставкой того или иного груза в установленные сроки, которые довольно часто возникают из-за плохих погодных условий и обычной поломки машин. При доставке скоропортящихся грузов в сорокоградусную жару рекомендуется использовать рефрижераторы, и при транспортировке овощей в сильные морозы, так же необходимо обеспечить определенный температурный режим. В то же время при перевозке некоторых товаров в зимнее время, мы можем не использовать специальные транспортные средства, так как во время транспортировки они не испортятся. Так же стоит учитывать погодные условия при перевозках на дальние расстояния. Во время рейса водитель может попасть в неблагоприятные погодные условия, что увеличит стоимость перевозки (гололед, объезд участка дороги из-за ливней, обледенение дорожного полотна и т.д.) рис. 2.



Рисунок 2. Последствия гололеда на трассе «М-4 «Дон

Следует понимать, что от своевременного реагирования на текущие изменения ситуации на дороге (пробки, резкие изменения погоды и т.п.), во многом зависит общая конкурентоспособность транспортной компании. Поэтому для того, чтобы существенно повысить реальную скорость реагирования надо использовать планирование деятельности, с учетом погодных условий и разделения труда, в тесном сочетании с развитием самых современных средств для связи между всеми подразделениями компании. Особая роль при планировании перевозок отводится прогнозам погоды и предупреждению катаклизмов (шторм, сход лавин, ураган и т.д.). Транспортным компаниям целесообразно использовать как краткосрочные прогнозы (1-2 дня), так и средние и долгосрочные (месяц). [2] Это позволит руководству компании более тщательно планировать свою деятельность и переносить доставку товаров на более безопасное время. Имея информацию, руководство компании при помощи средств современной связи (мобильной, спутниковой) может предупредить водителей о возможных проблемах в дороге и вовремя перенаправить их по новому маршруту.

Безусловно, для того чтобы снизить влияние различных негативных факторов на грузоперевозки общая деятельность той или иной современной компании должна вестись в строгом соответствии с реальными условиями по разработанной ранее стратегии. Необходимо также, чтобы все ответственные за

это работники, вплоть до самых нижестоящих работников – хорошо понимали такую стратегию, какие задачи перед ними стоят, и как их решить.

Общие функции принятия важных решений, а особенно это актуально в экстренных случаях, должны быть четко разграничены так, чтобы каждый исполнитель имел определенную свободу менять решения при возникновении такой необходимости. Следует сказать, что очень часто так называемое децентрализованное управление реально помогает намного быстрее изменять запланированный порядок текущих действий, что в свою очередь позволяет избежать большого множества ошибок.

Разумеется, стоит помнить, что общая организация разных грузоперевозок должна включать не только обычный план движения автотранспорта, а и общие условия работы для всех водителей. В ситуации неучтенных остановок, общий ранее запланированный график движения просто будет не соблюден, и это всегда нужно учитывать при планировании.

Заключение

Погодные условия оказывают значительное влияние на деятельность автотранспорта. При общем планировании транспортировки современных грузов автотранспортом надо проводить строгий и четкий анализ всех существующих путей транспортировки, учитывая сразу несколько факторов. А именно – общее расстояние и наличие разных альтернативных путей; общая опасность той или иной дороги; текущее время года и реальные погодные условия. Стоит заметить, что каждый из этих факторов может реально оказать довольно существенное влияние на ход и время грузоперевозки.

Библиографический список

1. Роль логистики в глобальной экономике: Источник - <https://www.eg-online.ru/article/119160/> (дата обращения: 20.01.2022). – Текст: электронный.
2. Влияние погодных условий на грузоперевозки автотранспортом: Источник – <http://turbotrans.ru/vlijanie-pogodnykh-usloviij-na-gruzoperevozki/> (дата обращения: 20.01.2022) – Текст: электронный.

Сведения об авторах

ФИО	Акулов Михаил
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	misha.akulov.11@mail.ru
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 рассмотрены вопросы влияние погодных условий на транспортные процессы.

Ключевые слова: перевозка, транспортные процессы, климат, погода.

УДК 656

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 73.31.61

Организация работы складской логистики на предприятии

Платынюк К., Антонова Т.С.

Введение

В настоящее время существуют и функционируют большое количество складов, но до сих пор проблемой нормального функционирования складов является складская логистика и ее организация.

Логистика- является одной из важных частей работы склада, а также очень затратная часть любого предприятия. Но сама по себе «логистика» – обширное понятие. В данной статье рассматриваются вопросы складской логистики, одной из ресурсозатратных частей (рис. 1). Задача каждого менеджера, ее оптимизировать – сделать менее затратной, тем самым увеличив общий доход.

Если придерживаться принципа бережливого производства, то нужно сократить время между датой производства продукции и датой потребления конечным покупателем. Ведь если в поставке от производителя до конечного потребителя будет большое количество звеньев цепи поставок, то обслуживание такого товара выйдет дороже, то есть количество звеньев цепи поставок прямо пропорционально обслуживанию товара [1].

Именно в эту цепочку входит склад. Некоторые руководители думают, что можно работать напрямую, без склада, тем самым сократив свои расходы. К сожалению, это не так. Ведь ни одно предприятие не выдержит сезонного спроса заказов. Но можно минимизировать лишние затраты на организацию склада и складской логистики, используя некоторые принципы.

Структура логистических издержек по данным Herbert W. Davis (США)



Рисунок 1. Доля складской логистики в логистических издержках

Не складировать лишнего. Главное и очень примитивное правило – хранить на складе столько товара, сколько хватит вашему предприятию до следующей поставки. Но чтобы придерживаться этого правила, необходимо учесть сезонность потребления продукции, выпускаемой вашим предприятием, рассчитать прогноз количества товаров на определенный промежуток времени и не складировать лишнего. На складах небольших предприятий, где могут храниться 15-20 типов товара, это может не принести значимого результата, но на крупном предприятии, на складах которого может быть расположено до тысячи разновидностей товаров, это будет полезным способом оптимизации работы склада.

Уменьшение количества складских операций. Чем больше мы тратим времени на обработку одного товара, тем дороже он обходится нашему предприятию. И чем больше товаров хранится и обрабатывается на складе, тем выше расход предприятия. Как это можно исправить:

- Устранить двойную работу – когда работники разных подразделений делают одну и ту же операцию, но в пределах своих задач.
- Устранить ненужные операции, такие как: заполнение журналов и документов, которые не несут в себе ценной информации и особо никому не нужны [3].

Выполнить некоторые операции на более ранних этапах. Можно маркировать продукцию еще на этапе производства. Также можно применять универсальную упаковку, которая будет использоваться на всех стадиях цепи поставок.

Также один из способов оптимизации работы складской логистики – это вносить всю информацию об отправленных товарах в базу перед отправкой на склад [2]. База данных будет постоянно обновляться автоматически, как только товар поступит на склад. Это поможет отказаться от работы с бумажными носителями. Предприятиям стоит внедрять использование сканеров, которые будут считывать QR-коды с товаров, вносить и систематизировать их в современных складских программах (рис. 2).



Рисунок 2. Автоматизация учета товаров на складе

Идентификация и отслеживание продукции на складе. Опять же, с помощью сканнеров, которые будут считывать QR-коды, можно запустить адресную систему хранения, с помощью которой у всех товаров будет свое место на складе. Благодаря этому можно сократить время поиска товара на складе и значительно увеличить производительность работника склада, сократив время на исполнение заказа.

Формирование зон хранения товаров. Для сокращения передвижений необходимо сделать анализ товаров, расположенных на складе и распределить на три группы: А – товары, которые чаще всего отгружаются; В – товары, средней частоты отгрузки; С – неликвидный товар. Товары с повышенным спросом располагаются в зоне А, самые не востребоваанные товары в зоне С. Так будет проще распределять продукцию, сократить перемещения погрузчиков, и понять, на какой товар меньше всего спроса [2].

Заключение

Складская логистика постоянно меняется. Новые возможности, новые методики, развитие цифровых технологий позволяет оптимизировать складские процессы. Организовать склад, в котором не будет потерь – невозможно, но потери можно и нужно минимизировать. Предприятиям необходимо следить за

новыми технологиями, применяемыми на складах. На сегодняшний день существует большое количество различных платформ и программных обеспечений для работы со складами, которые могут помочь в оптимизации складской логистики и минимизировать затраты для предприятия.

Библиографический список

1. Роль логистики в глобальной экономике: Источник - <https://www.eg-online.ru/article/119160/> (дата обращения: 20.01.2022). – Текст: электронный.
2. Организация склада с нуля: Источник – <https://forstor.ua/customer-reference/skladskaya-logistika/organizacia-raboti-sklada/> (Дата обращения 22.01.2022). – Текст: электронный.
3. Эталонный склад и его формирование: Источник – <https://sapmybiz.ru/tm/> (Дата обращения 23.02.2022). – Текст: электронный.

Сведения об авторах

ФИО Платынюк Ксения
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail kplatynyuk02@mail.ru

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 рассмотрены вопросы оптимизации процессов на складе.

Ключевые слова: склад, складская логистика, оптимизация на складе.

УДК 658.7

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 81.89.75

2. ЛЕСОСЕЧНЫЕ РАБОТЫ

Календарное планирование транспортного освоения лесосек годового лесосечного фонда лесозаготовительного предприятия

Ларин С.М., Тюрин Н.А.

Введение

Задача проектирования эффективного календарного транспортного освоения лесосек не является тривиальной. В ней достаточно много факторов, которые необходимо учитывать при проектировании технологических путей каждой лесосеки: технологию и машины лесосечных работ, грунтово-гидрологические условия и рельеф на лесосеке и подходах к ней от существующей автомобильной дороги, климатические условия региона и сезон заготовки и вывозки древесины, параметры лесовозного автопоезда и ликвидный запас древесины на лесосеке, наличие местных дорожно-строительных материалов. В сложившейся практике лесозаготовительного производства для решения этих задач используется метод экспертных оценок, основанный на опыте специалиста и результатах обобщённых расчетов, что не может давать наилучшего результата и требует автоматизации на основе геоинформационных технологий картографического моделирования и оптимизации лесотранспортных процессов.

Геоинформационные технологии позволяют провести математико-картографическое моделирование условий, которые влияют на размещение сети лесных дорог. Схема первичной лесотранспортной сети лесосеки на основе геоинформационных систем должна быть разработана с учетом технологии лесосечных работ, систем машин, всего комплекса лесосечных и лесохозяйственных мероприятий, а также материалов отвода лесосек и требований правил заготовки древесины.

Цель исследования – разработка методики транспортного освоения лесосек годового лесосечного фонда лесозаготовительного предприятия (ЛЗП) на базе геоинформационных систем и технологий математико-картографического моделирования и оптимизации.

Предлагаемый алгоритм проектирования транспортного освоения лесосек включает следующие этапы:

1. Создание ГИС-проект арендуемого лесного участка, с указанием существующей транспортной сети региона, лесных запасов и грунтово-гидрологических условий местности.
2. Обоснование выбора технологии и машин проектируемого лесосечно- транспортного процесса лесопользования.

3. Расчет оптимальной структуры лесной транспортной сети с определением параметров грузосборочных зон дорог общего пользования, лесовозных магистралей, веток, усов, магистральных и пасечных волоков. При традиционном лесозаготовительном процессе в силу связности путей лесотранспорта любое изменение протяженности дорог одной технической категории автоматически приводит к изменению протяженности дорог других категорий. Это позволяет найти оптимальное соотношение протяженности путей разной степени капитальности с расчетом параметров оптимальной иерархической структуры сети лесных дорог. Под параметром структуры понимаем ширину зоны тяготения лесных грузов к любому транспортному пути, грузы с которого должны транспортироваться по данному пути.

4. Районирование лесного участка на сезонные зоны зимней и летней заготовки лесопромышленного производства.

5. Проектирование генеральной схемы полного транспортного освоения лесного участка лесными магистралями и ветками с учетом существующей транспортной сети региона и сезонного зонирования лесопромышленного производства.

6. Набор лесосек по годам планируемого периода работы ЛЗП на срок до 3...10 лет (рис. 1). Определение календарного плана строительства новых участков лесовозных магистралей и веток по годам планового периода для транспортного освоения набранных лесосек с учетом генеральной схемы полного транспортного освоения арендуемого лесного участка.

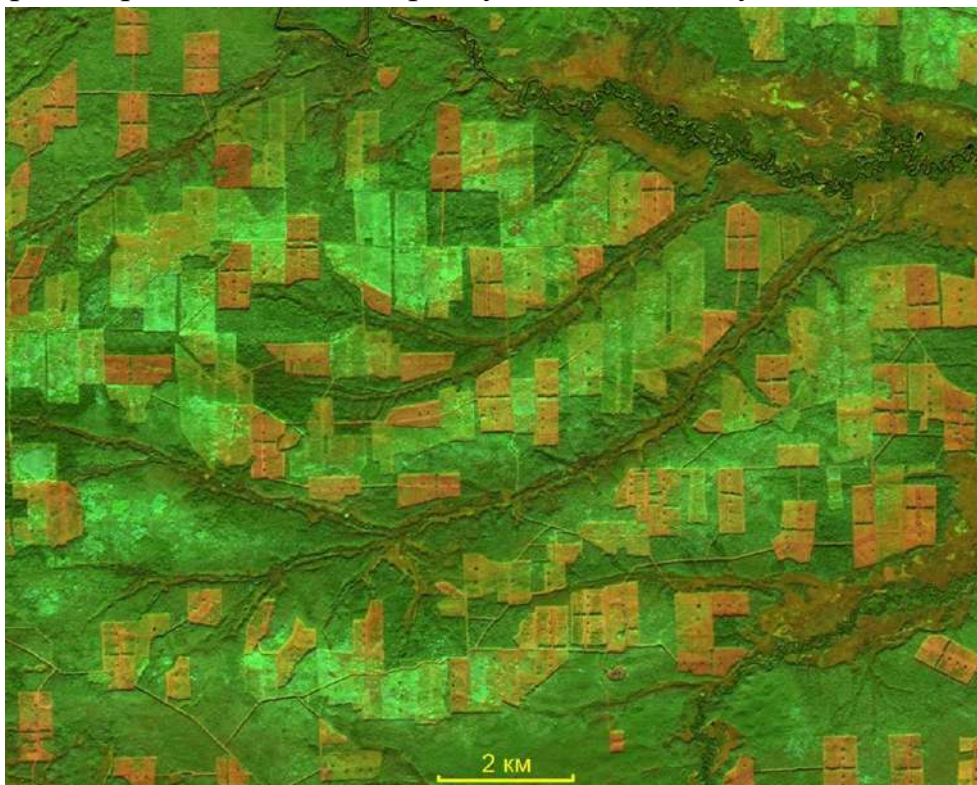


Рисунок 1. Фрагмент тематической карты набора лесосек в рубку на ближайшие 10 лет

7. Расчет оптимальных календарных сроков освоения набранных лесосек на ближайшие 3 года, с установлением очередности и помесячных сроков лесосечных работ на каждой лесосеки годового лесосечного фонда ЛЗП. Исходными данными для работы этой системы является реестр лесосек годового лесосечного фонда ЛЗП. С помощью математической модели территориально-временной динамики лесозаготовок оптимизируется пространственно – временное, помесячное освоение лесосек, годового лесосечного фонда. В результате работы модели устанавливается очередность и календарные сроки (месяцы) проведения заготовки древесины в каждой лесосеки. Эти данные визуализируются на помесячных картах ГИС-проекта (рис. 2).

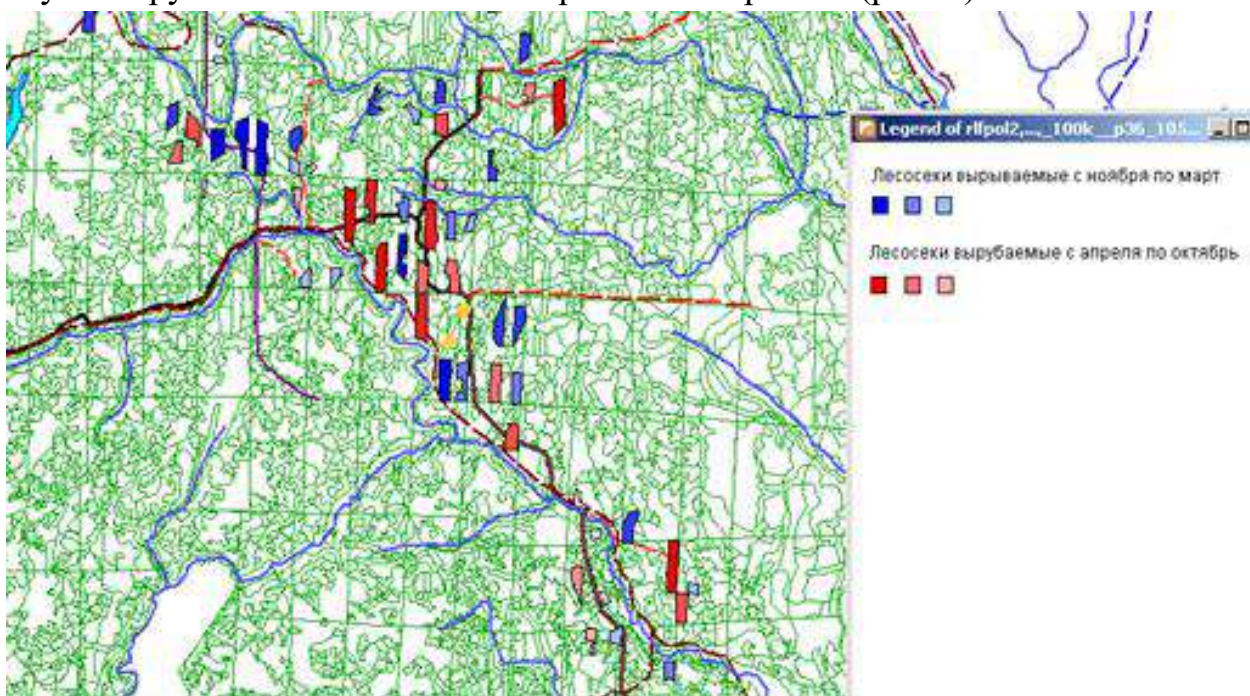


Рисунок 2. Обобщённая очередность освоения лесосек годового лесосечного фонда

8. Оптимизация проектируемых дорожных конструкций лесовозных усов к каждой лесосеки годового лесосечного фонда ЛЗП на ближайшие 3 года с учетом расчетных сроков проведения лесосечных работ, ликвидного запаса на лесосеке и работоспособности дорожных конструкций (рис. 3).

9. Зонирование арендуемого лесного участка существующими автомобильными дорогами на зоны: трелевки и строительства волоков (зона 1), вывозки и строительства усов (зона 2), вывозки и строительства лесовозных усов и веток (зона 3). В результате этих расчетов на карте визуализируются три транспортные грузосборочные зоны: зона трелевочная, зона лесовозных усов и зона лесовозных веток (рис. 4).

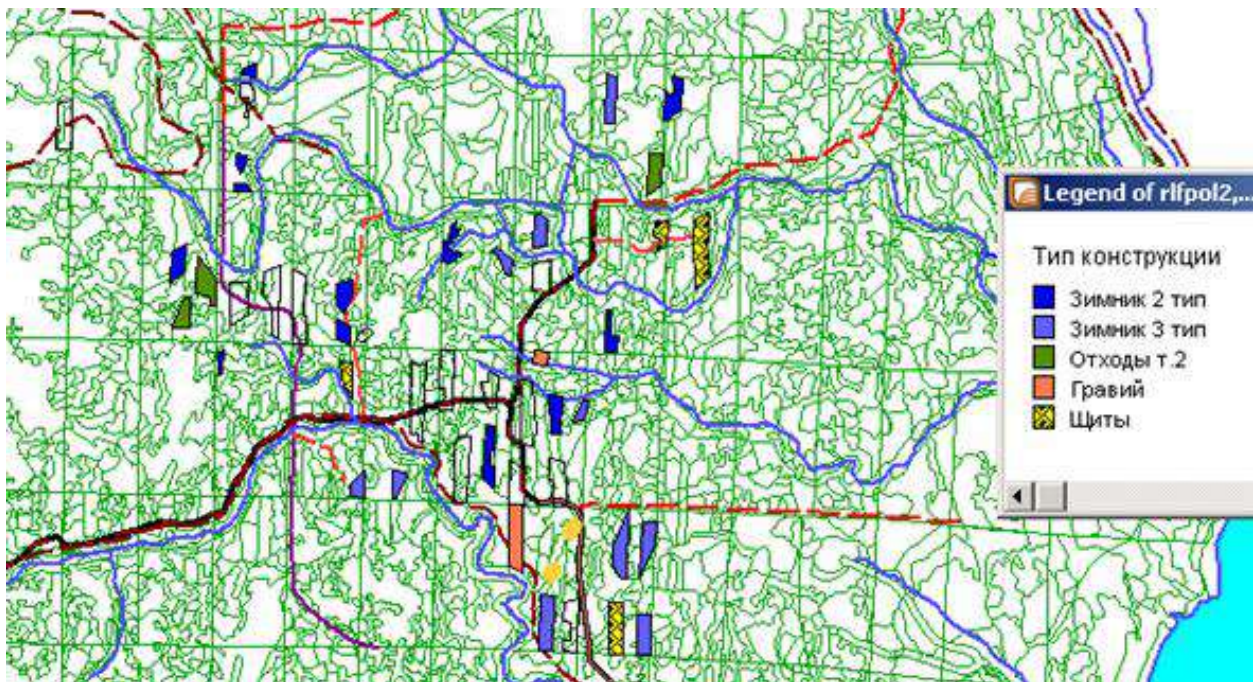


Рисунок 3. Рациональные типы дорожных конструкций усов

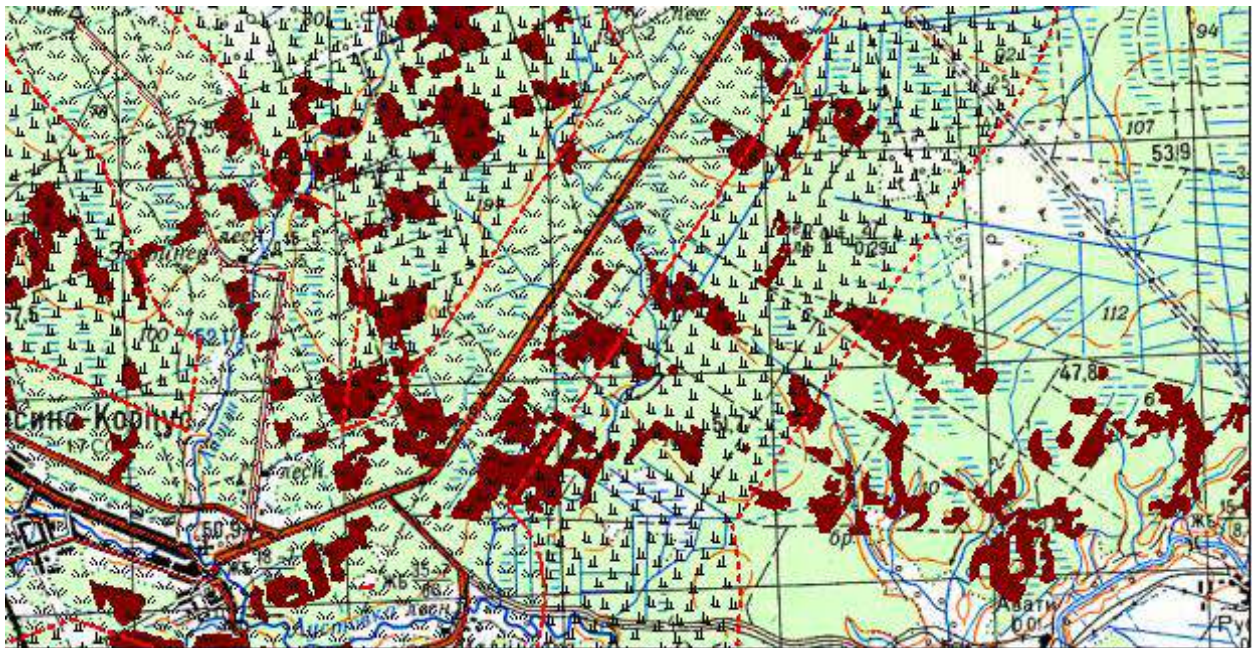


Рисунок 4. Грузосборочные зоны трелевки, лесовозных усов и веток с лесосеками годового лесосечного фонда

Лесосеки, попавшие в трелевочную зону, для транспортного освоения потребуют лишь прокладки магистральных и пасечных волоков. Лесосеки, попавшие в зону усов, для транспортного освоения потребуют прокладки лесовозных усов и волоков, а попавшие в зону веток соответственно, строительства лесовозных веток, усов и волоков. Таким образом, картографическое зонирование, выполненное по результатам оптимизационных расчетов структуры технологических путей (пункт 3 методики), позволяет

обоснованно определиться с категорией пути при транспортном освоении той или иной лесосеки годового лесосечного фонда.

Собственно процесс размещения технологических путей – лесовозных усов, магистральных и пасечных волоков на карте выполняется в несколько этапов в соответствии с их иерархией. Сначала от лесосеки до существующей дороги размещается лесовозный ус, а при нахождении лесосеки в трелевочной зоне – основной магистральный волок, затем размещают стоянку машин и механизмов с объектами обслуживания, погрузочные площадки (верхние склады и магистральные волокни, а от них - пасечные волокни.

10. Формируют календарный план заблаговременного (за 1...2 года до проведения лесосечных работ) строительства лесовозных усов и проведения подготовительных лесосечных работ для транспортного освоения годового лесосечного фонда ЛЗП на ближайшие три года. Выполняется строительство запроектированных участков усов для освоения лесосек очередного года.

11. Формируется лесная декларация на отведенные в рубку на текущий год лесосеки с учетом оптимальных сроков их освоения.

Заключение

Предлагаемая методика, основанная на гис-технологиях и картографическом моделировании и оптимизации, позволяет учесть при транспортном освоении лесосек не только тактические, но и стратегические задачи полного транспортного освоения всего арендуемого лесного участка.

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	Ларин С.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5165-2610
e-mail	serega.larin.1999@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 рассматриваются особенности проектирования транспортного освоения лесосек с учетом природно-климатических условий региона. Приведена методика календарного планирования освоения лесосек годового лесосечного фонда лесозаготовительного предприятия.

Ключевые слова: транспортное освоение лесосек, календарная оптимизация освоения лесосек, лесная декларация, конструкция лесовозного уса.

УДК 630*8

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 68.47.43

Усовершенствование первичной вывозки древесины методом замены техники на зарубежных комплектующих на отечественную

Россихин К.В., Свойкин Ф.В., Угрюмов С.А.

Введение

В связи с динамично изменяющейся конъюнктурой рынка лесозаготовительной промышленности в РФ, отчетливо наблюдается тренд многих предприятий отрасли, связанных с лесозаготовкой, заключающийся в удешевлении производства готовой продукции, но это не всегда получается. Одной из самых важных проблем является выбор используемой техники. Не все предприятия имеют новую лесозаготовительную технику, поэтому появляется вопрос выбора оптимальных с экономической и эксплуатационной точек зрения лесных машин. В тоже время, компании обращают внимание на почвенно-грунтовые условия, в которых будет работать данная техника, на её характеристики, стоимость и удобство комплексной эксплуатации и обслуживания. Учитывая, что наиболее часто встречаемые лесные машины при сортиментной заготовке древесины: колесные сортиментоподборщики, поскольку заготовка может производиться как валочно-сучкорезно-ракражевыми машинами, так и ручным моторным инструментом, в свою очередь первичная вывозка осуществляется, как правило, колесными сортиментоподборщиками) [1-4].

Проблема.

На данный момент, не представляется возможным закупить машины зарубежных и некоторых отечественных производителей по причинам высокой стоимости техники и наличия зарубежных комплектующих в составе машин российских производителей. Поэтому возможность ремонта такой техники ограничена или невозможна, возможна лишь замена расходных материалов и ГСМ.

Характеристика почвенно-грунтовых условий лесосек также оказывает влияние на выбор специальной техники, скорость передвижения, и, следовательно, на производительность и эффективность работы машины в целом.

Например, Тотемский леспромхоз – филиал компании САУ Лесного Хозяйства Вологодской области «Вологодское Лесохозяйственное Объединение» [5], использует КС Амкодор 2661 с гидроманипулятором Kesla 600 (рис.1). У данной машины установлены узлы, производимые в других странах (мост задней оси фирмы NAF (Германия) и гидроманипулятор Kesla 600 (Финляндия)). Это означает, что в случае серьезной поломки, предприятие не сможет как следует обслужить технику в связи с труднодоступностью деталей на эти узлы.



Рисунок 1. КС Амкодор 2661 с гидроманипулятором Kesla 600

Также стоит учитывать, что часть эксплуатационных лесов участковых лесничеств находится на заболоченных территориях, к таким можно отнести Матвеевское, Маныловское, Заозерское и другие. Соответственно отмечаются проблемы с проходимость такой техники.

Цель работы – подбор и анализ эффективности работы отечественной техники для вывозки древесины на слабых грунтах и заболоченных территориях.

Решение.

В качестве решения проблемы импортозамещения лесовозной техники стоит рассмотреть применение КС Тром 20 УЭС (рис. 2) на базе снегоболотохода Тром 8.



Рисунок 2. Форвардер Тром 20 УЭС с гидроманипулятором Армада

Таблица 1. Сравнительная характеристика лесной техники

Показатели	Амкодор 2661	Тром 20 УЭС
Грузоподъемность, кг	12000	10000
Длина грузового отсека, м	4,8	передняя – 5, задняя – 4
Допустимая длина сортиментов, м	до 7	передняя – до 6, задняя – до 5
Манипулятор	KESLA 600	кран Армада
Вылет стрелы манипулятора, м	8,2	7,3
Момент грузовой, кНм	80	60
Диаметр охватываемого дерева грейфером, мм	75...600	до 500
Двигатель	Д-260.1 (Беларусь)	ЯМЗ-534
Крутящий момент, Н*м	600	700
Мощность номинальная, л.с. (кВт)	155 (130)	200 (150)
Колесная формула	6x6	8x8
Трансмиссия	АКПП (Гидромеханическая)	МКПП (Гидростатическая)
Количество передач, вперед/назад	4/2	4/1
Скорость передвижения, км/ч:		
1-я	4.5	9
4-я	28	25
Мост	Балансирный ведущий мост (4x4) фирмы NAF (Германия)	ГАЗ-66
Длина в транспортном положении, мм	9 750	11 000
Ширина по колесам, мм	2 870	3 200
Высота по крыше кабины, мм	3 750	3 200
Масса эксплуатационная, кг	15 500	8 000

Грузоподъемность Амкодор 2661 больше, но Тром 20 УЭС способен перевозить больше массы груза относительно собственной массы. При этом, он имеет два кузова, для сортиментов разной длины (от 3 до 6 м).

Чтобы перевозить груз больше собственной массы, агрегат оснащен колесами сверхнизкого давления (0,1 – 0,5 атм). Это позволяет ему не проваливаться на слабых грунтах, в то время как другой форвардер может «сесть» на глубину до полуметра.

В сложных условиях Тром 20 УЭС может развивать скорость до 12 км/ч. В случае транспортировки древесины по асфальтированной дороге он будет проигрывать КС Амкодор, который к этому более приспособлен. Если Тром застрял можно воспользоваться активными балансирами или двумя лебёдками, установленными спереди и сзади (5,5 тонн тяги каждая).

Тром имеет меньшую высоту, относительно Амкодора. Ширина колесной базы у болотохода больше. Эти факторы дают более низкий центр тяжести всей конструкции, что влияет на устойчивость техники на разных покрытиях.

На форвардере Амкодор 2661 установлен дизельный двигатель Д-260.1, на Тром 20 УЭС ставят ЯМЗ-534. Ярославский мотор имеет экологическую норму ЕВРО-5, в то время как Минский имеет норму ЕВРО-3, что сказывается на расходе топлива. С преимуществом в 150 килограмм ЯМЗ выдает на 45 л.с. и 100 Н*м больше, чем его конкурент. На графиках (рис. 3) видно, что при одинаковой частоте вращения (≈ 1580 об/мин), двигатель ЯМЗ-534 выдает 130 кВт мощности и 730 Н*м крутящего момента, а двигатель Д-260.1 выдает 110 кВт мощности и 690 Н*м крутящего момента.

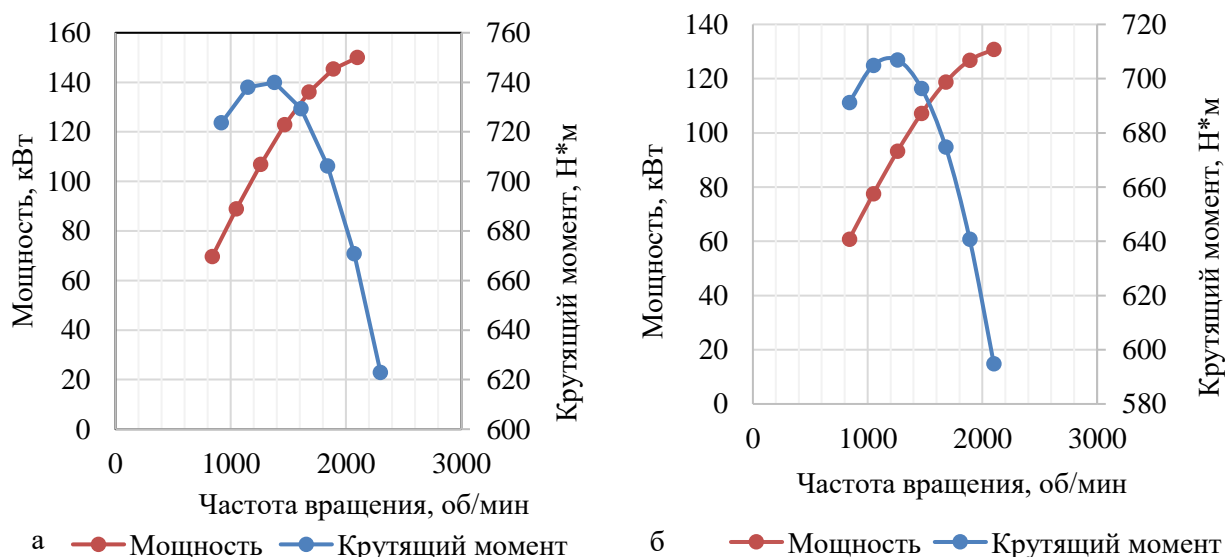


Рисунок 3. Соотношение крутящего момента и частоты вращения двигателей:

а – ЯМЗ-534; б – Д-260.1

Выводы.

Использование Тром 20 УЭС на отечественных комплектующих позволит проводить вывозку древесины на слабых грунтах и заболоченных территориях благодаря колесам сверхнизкого давления. Двигатель Тром 20 УЭС с экологической нормой ЕВРО-5 является более экономичным, что положительно скажется на расходе ГСМ. При собственном весе 8 тонн форвардер способен везти до 10 тонн лесного сортимента. Агрегат обладает не самой высокой скоростью движения по асфальтированной дороге. На данный момент установлен не самый мощный манипулятор, в будущем планируется установка более сильного агрегата.

Библиографический список

1. Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Угрюмов С.А. Результаты экспериментальных исследований использования двенадцатиколесного гидромеханического вездехода ТРОМ 20 в природно-производственных условиях ХМАО-ЮГРА Тюменской области, месторождения ПАО «СУРГУТНЕФТЕГАЗ» // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. № 1. С. 33-40.
2. Кацадзе В.А., Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Угрюмов С.А. Обзор современных отечественных решений для транспортного освоения труднодоступных лесосек // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2022. № 3. С. 3-12.
3. Большаков Н.М. Инновационные основы системного развития регионального лесного сектора экономики: методология, технология, механизмы. – СПб.: СПбГЛТУ. 2015. 312 с.
4. Тетеревлева Е. В. Колесные вездеходы на шинах сверхнизкого давления в лесном хозяйстве и лесозаготовительном производстве // Материалы 5-й всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием «Повышение эффективности лесного комплекса». – Петрозаводск: ПетрГУ. 2019. С. 109-111.
5. Лесохозяйственный регламент Тотемского лесничества Вологодской области. Департамент лесного комплекса Вологодской области – Вологда: ДЛК ВО. 2018. 145 с.
6. 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	Россихин Кирилл Вадимович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	krossihin@gmail.com
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	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

Аннотация

На основе анализа технических показателей и используемых агрегатов применяемой и внедряемой лесной техники было выполнено исследование на эффективность вариантов на вывозке сортиментов. Качественные показатели позволяют осуществлять КС Тром 20 УЭС более эффективную работу в условиях недостаточной несущей способности почвогрунта лесосек.

Ключевые слова: усовершенствование, техника, колесный сортиментоподборщик, первичная вывозка древесины, трелевка; improvement, equipment, machine for collecting wood sortings on wheels, transportation of wood, skidding.

УДК 630*31

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15

Системный анализ технико-экономической эффективности производства сортиментов на базе ВСРМ

Беленький Ю.И., Свойкин Ф.В., Ли Мэнди, Ли Хуэйлю, Цзя Юэдивень

Введение.

Повышение производительности труда в лесозаготовительном производстве зависит от того, насколько научные основы теории систем, системного подхода и системного анализа используются при анализе технико-экономической эффективности производственных процессов.

При системном подходе базовым представлением является понятие системы – единая функционально связанная пространственно-временная структура сложных технологических процессов производства и перемещения древесины от мест её произрастания до потребителей продукции предприятий.

Цель работы – системный анализ эффективности производства сортиментов на базе многооперационных лесных машин с учетом технико-экономических показателей производства.

Результаты исследований.

В Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации основными техническими единицами на лесозаготовительных производствах для скандинавской сортиментной технологии с применением в основе

многооперационных лесных машин и выходом обрезных пиломатериалов на деревоперерабатывающем производстве, являются: валочно-сучкорезно-ракрывочная машина (ВСРМ или «харвестер») – колесный сортиментоподборщик (КС или «форвардер») – автопоезд («лесовоз») – лесопильная рама.

На основе трехфакторной информации, представленной ЛПП о лесозаготовительном комплексе на базе ВСРМ, выполнено исследование его технико-экономической эффективности математической моделью представления системного анализа [1-8].

В таблице 1 приведена трехфакторная технико-экономическая информация о лесозаготовительном комплексе на базе ВСРМ.

Таблица 1. Трехфакторная технико-экономическая информация о лесозаготовительном комплексе на базе ВСРМ

Оборудование	Производительность, м ³ /час	Мощность, кВт	Стоимость, руб./час
ВСРМ (харвестер)	15	205	1614
КС (форвардер)	15	205	1899
Автопоезд	16	134	1225
Лесопильная рама	4	28	480

Системный анализ технико-экономической эффективности комплекса выполнен для следующих вариантов непрерывной работы без складирования и складирования сортиментов, приведены в таблицах 2, 3 и 4.

Таблица 2. Трехфакторная технико-экономическая информация о комплексе на базе ВСРМ без складирования сортиментов

Оборудование	Производительность, м ³ /час	Мощность, кВт	Стоимость, руб./час
ВСРМ (харвестер)	15	205	1614
КС (форвардер)	15	205	1899
АП (Автопоезд)	16	134	1225
4 Лесопильных рамы	16	112	1920

Первый вариант (таблица 2). Производительность системы ВСРМ – КС – АП составляет 15,2 м³/час, при непрерывной синхронизированной работе всей системы необходимы 4 рамы, в этом случае в системе: функциональная производительность равна 15,5 м³/час; функциональная мощность составляет 147,8,0 кВт; функциональная себестоимость равна 1666,7 руб./час; удельная себестоимость 107,5 руб./м³.

Таблица 3. Трехфакторная технико-экономическая информация о комплексе с двухчасовым складированием

Оборудование	Производительность, м ³ /час	Мощность, кВт	Стоимость, руб./час
ВСРМ (харвестер)	15	205	1614
КС (форвардер)	15	205	1899
АП (Автопоезд)	16	134	1225
2 Лесопильных рамы	8	56	960

Второй вариант (таблица 3). При двухчасовом складировании сортиментов необходимы 2 рамы, в этом случае в системе: функциональная производительность равна 7,8 м³/час; функциональная мощность составляет 108,0 кВт; функциональная себестоимость 1333,3 руб./час; удельная себестоимость 171,0 руб./м³.

Таблица 4. Трехфакторная технико-экономическая информация о комплексе с четырехчасовым складированием

Оборудование	Производительность, м ³ /час	Мощность, кВт	Стоимость, руб./час
ВСРМ (харвестер)	15	205	1614
КС (форвардер)	15	205	1899
Автопоезд	16	134	1225
1 Лесопильная рама	4	28	480

Третий вариант (таблица 4). При четырехчасовом складировании сортиментов работает одна рама: функциональная производительность равна 4,0 м³/час; функциональная мощность составляет 70,2 кВт; функциональная себестоимость 1000,0 руб./час; удельная себестоимость 250 руб./м³. Результаты расчетов трех вариантов сведены в таблице 5.

Таблица 5. Технико-экономическая эффективность производства комплекса на базе ВСРМ

Варианты	1	2	3
Производительность, м ³ /час // коэффициент эффективности	15,5 // 0,25	7,8 // 0,14	4,0 // 0,08
Мощность, кВт // коэффициент эффективности	147,8 // 0,23	108,0 // 0,19	70,2 // 0,12
Себестоимость, руб./час // коэффициент эффективности	1666,7 // 0,25	1333,3 // 0,23	1000,0 // 0,19
Удельная себестоимость, руб./м ³	107	171,0	250

Заключение. На основании математической модели системного анализа становится возможным исследование технико-экономических композиций различных комбинаций технологических операций, которое позволяет лицу принимающего решение (ЛПР) формулировать наиболее эффективную структуру комплекса, соответствующую динамике рынка лесной продукции.

Финансирование

Работа Свойкина Ф.В. поддержана Грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-2025.2022.4.

Библиографический список

1. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Основы системного анализа производственных процессов. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018. 60 с.
2. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Системный анализ технологической эффективности лесозаготовительной техники. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. 71 с.
3. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Лесозаготовительная логистика. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 48 с.

4. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Системно-синергетический анализ технологий лесозаготовительного производства. –СПб.: СПбГЛТУ, 2014. 96 с.
5. Жук К.Д., Угрюмов С.А., Свойкин Ф.В. К вопросу о повышении эффективности лесозаготовок путем совершенствования информационных систем многооперационных лесных машин. В сборнике: Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. материалы XIII Международной научно-технической конференции. – Екатеринбург: УГЛТУ. 2021. С. 502-506.
6. Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Угрюмов С.А., Базаров С.М. Информационное обеспечение динамики системной связности операций валочно-сучкорезно-раскряжевой машины Ремонт. Восстановление. Модернизация: производственный, научно-технический и учебно-методический журнал. –М.: Наука и технологии, 2022. №2. С. 37-41. DOI: 10.31044/1684-2561-2022-0-2-37-41
7. Svoikin F., Svoikin V., Bazarov S., Alexandrov A., Ugryumov S. Information support of the dynamics of system connectivity of wheel harvester operations. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 806. (2021). 012031. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/806/1/012031
8. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Угрюмов С.А., Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф. Системный анализ технологической эффективности колесного сортиментоподборщика. Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 2. С. 116–129. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-116-129

Сведения об авторах

ФИО	Беленький Юрий Иванович
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	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	svoikin_fv@mail.ru
ФИО	Ли Мэнди
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	943189862lee@gmail.com
ФИО	Ли Хуэйлю
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—

e-mail	786437769@qq.com
ФИО	Цзя Юэдивень
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	jydwjydwss@icloud.com

Аннотация

На основе трехфакторной входной информации о технических и экономических показателях применяемой лесной техники в комплексе производства лесоматериалов на базе валочно-сучкорезно-раскряжевой машины выполнено исследование его эффективности при различных вариантах синхронизации связанных технологических процессов. Количественные показатели позволяют ЛПР формулировать наиболее эффективную структуру комплекса, соответствующую динамике рынка лесной продукции.

Ключевые слова: синхронизация, складирование, процесс, математическая модель.

УДК 303.732

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.17

Системный анализ технико-экономической эффективности производства сортиментов на базе ручного моторного инструмента

Беленький Ю.И., Свойкин Ф.В., Ли Мэнди, Ли Хуэйлю, Цзя Юэдивень

Введение.

Математические модели системного анализа являются основой повышения производительности труда в лесозаготовительном производстве, позволяя определять технико-экономические критерии эффективности технологий, формируемых в различных композициях лесной техники.

Базовым представлением в теории систем служит понятие системы – единая функционально связанная технологическим пространством-временем структура сложных процессов производства и перемещения продуктов потребления различных динамично меняющихся сфер народного хозяйства.

Цель работы – системный анализ эффективности производства сортиментов на базе ручного моторного инструмента с учетом технико-экономических показателей производства.

Результаты исследования.

В Северо-Западном федеральном округе Российской Федерации (СЗФО РФ) возможными техническими единицами на лесозаготовительных производствах для скандинавской сортиментной технологии с применением в основе комбинации ручного моторного инструмента и многооперационных лесных машин и выходом обрезных пиломатериалов на деревоперерабатывающем производстве, являются: ручной моторный инструмент – колесный сортиментоподборщик (КС или «форвардер») – автопоезд («лесовоз») – рама.

На основе трехфакторной технико-экономической информации, представленной ЛПП о лесозаготовительном комплексе на базе ручного моторного инструмента – РМИ (бензопила) выполнено исследование его технико-экономической эффективности математической моделью представления системного анализа для лесозаготовительных технологий [1-9].

В таблице 1 дается трехфакторная технико-экономическая информация о заготовительном производстве на базе сортиментной механизированной технологии с использованием РМИ.

Таблица 1. Трехфакторная технико-экономическая информация о лесозаготовительном производстве на базе сортиментной механизированной технологии

Оборудование	Производительность, м ³ /час	Мощность, кВт	Стоимость, руб./час
Ручной моторный инструмент – РМИ (бензопила)	3	3,4	588
КС (форвардер)	15	205	1899
Автопоезд	16	134	1225
Лесопильная рама	4	28	480

Системный анализ выполним для вариантов без складирования и складирования лесной продукции при непрерывной работе производственного процесса. Трехфакторная технико-экономическая информация о производстве на базе сортиментной механизированной технологии без складирования сортиментов представлена в таблице 2.

Таблица 2. Трехфакторная информация о производстве на базе сортиментной механизированной технологии без складирования сортиментов

Оборудование	Производительность, м ³ /час	Мощность, кВт	Стоимость, руб./час
5 шт. Ручной моторный инструмент – РМИ (бензопила)	15	17	2940
КС (форвардер)	15	205	1899
Автопоезд	16	134	1225
5 шт. Лесопильная рама	16	112	1920

Трехфакторная технико-экономическая информация о производстве на базе сортиментной механизированной технологии при двухчасовом складировании сортиментов представлена в таблице 3.

Таблица 3. Трехфакторная технико-экономическая информация о производстве на базе сортиментной механизированной технологии при двухчасовом складировании сортиментов

Оборудование	Производительность, м ³ /час	Мощность, кВт	Стоимость, руб./час
5 шт. Ручной моторный инструмент – РМИ (бензопила)	15	17	2940
КС (форвардер)	15	205	1899
Автопоезд	16	134	1225
2 шт. Лесопильная рама	8	56	960

Трехфакторная информация о производстве на базе сортиментной механизированной технологии при четырехчасовом складировании сортиментов показана в таблице 4.

Таблица 4. Трехфакторная информация о производстве на базе сортиментной механизированной технологии при четырехчасовом складировании сортиментов

Оборудование	Производительность, м ³ /час	Мощность, кВт	Стоимость, руб./час
5 шт. Ручной моторный инструмент – РМИ (бензопила)	15	17	2940
КС (форвардер)	15	205	1899
Автопоезд	16	134	1225
1 шт. Лесопильная рама	4	28	480

Первый вариант (таблица 2). Производительность системы «ручной моторный инструмент – колесный сортиментоподборщик (КС или «форвардер») – автопоезд («лесовоз») – рама» составляет 15,5 м³/час, при непрерывной синхронизированной работе всей системы необходимы 4 рамы, в этом случае в системе: функциональная производительность равна 15,5 м³/час; функциональная мощность составляет 49,4 кВт; функциональная себестоимость равна 1904,8 руб./час, удельная себестоимость 38,6 руб./м³.

Второй вариант (таблица 3). При двухчасовом складировании сортиментов необходимы 2 рамы, в этом случае в системе: функциональная производительность равна 7,8 м³/час; функциональная мощность составляет 43,5 кВт; функциональная себестоимость 1538,5 руб./час; удельная себестоимость 35,4 руб./м³.

Третий вариант (таблица 4). При четырехчасовом складировании сортиментов работает одна рама: функциональная производительность равна 4,0 м³/час; функциональная мощность составляет 35,7 кВт; функциональная себестоимость 1111,2 руб./час; удельная себестоимость 31,1 руб./м³.

Результаты расчетов рассмотренных вариантов сведены в таблице 5.

Таблица 5. Технико-экономическая эффективность производства при сортиментной механизированной технологии

Варианты	1	2	3
----------	---	---	---

Производительность, м ³ /час // коэффициент эффективности	15,5 // 0,25	7,8 // 0,14	4,0 // 0,08
Мощность, кВт // коэффициент эффективности	49,4 // 0,23	43,5 // 0,11	35,7 // 0,09
Себестоимость, руб./час // коэффициент эффективности	1904,8 // 0,25	1538,5 // 0,22	1111,2 // 0,17
Удельная себестоимость, руб./м ³	38,6	35,4	31,1

Заключение.

Выполненный анализ показывает возможности решения двухкритериальной задачи лесозаготовительного производителя на рынке: «минимум стоимости и минимум времени», в свою очередь позволяющее лицу принимающего решение (ЛПР) формулировать наиболее эффективную структуру комплекса, соответствующую динамике рынка лесной продукции.

Финансирование. Работа Свойкина Ф.В. поддержана Грантом Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых – кандидатов наук № МК-2025.2022.4.

Библиографический список

1. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Основы системного анализа производственных процессов. - СПб.: СПбГЛТУ, 2018. 60 с.
2. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Системный анализ технологической эффективности лесозаготовительной техники. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. 71 с.
3. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Лесозаготовительная логистика. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 48 с.
4. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н. Системно-синергетический анализ технологий лесозаготовительного производства. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. 96 с.
5. Жук К.Д., Угрюмов С.А., Свойкин Ф.В. К вопросу о повышении эффективности лесозаготовок путем совершенствования информационных систем многооперационных лесных машин. В сборнике: Эффективный ответ на современные вызовы с учетом взаимодействия человека и природы, человека и технологий: социально-экономические и экологические проблемы лесного комплекса. материалы XIII Международной научно-технической конференции. Екатеринбург, 2021. С. 502-506.
6. Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Угрюмов С.А., Базаров С.М. Информационное обеспечение динамики системной связности операций валочно-сучкорезно-раскряжевой машины Ремонт. Восстановление. Модернизация: производственный, научно-технический и учебно-методический журнал. –М.: Наука и технологии, 2022. №2. С. 37-41. DOI: 10.31044/1684-2561-2022-0-2-37-41
7. Svoikin F., Svoikin V., Bazarov S., Alexandrov A., Ugryumov S. Information support of the dynamics of system connectivity of wheel harvester operations. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 806. (2021). 012031. IOP Publishing. DOI: 10.1088/1755-1315/806/1/012031
8. Базаров С.М., Беленький Ю.И., Угрюмов С.А., Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф. Системный анализ технологической эффективности колесного сортиментоподборщика. Изв. вузов. Лесн. журн. 2021. № 2. С. 116–129. DOI: 10.37482/0536-1036-2021-2-116-129
9. Кацадзе В.А., Бирман А.Р., Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Угрюмов С.А. Сравнение производительности систем лесосечных машин. Ремонт. Восстановление. Модернизация: производственный, научно-технический и учебно-методический журнал. – М.: Наука и технологии, 2020. №3. С. 40-44. DOI: 10.31044/1684-2561-2020-0-3-40-44

Сведения об авторах

ФИО	Беленький Юрий Иванович
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	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	Ли Мэнди
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	943189862lee@gmail.com
ФИО	Ли Хуэйлю
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	786437769@qq.com
ФИО	Цзя Юэдивень
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	jydwjydwss@icloud.com

Аннотация

На основе трехфакторной информации о технических и экономических показателях применяемой лесной техники в комплексе производства лесоматериалов на базе ручного моторного инструмента выполнено исследование его эффективности при различных вариантах синхронизации связанных технологических процессов. Количественные показатели позволяют ЛПР формулировать наиболее эффективную структуру комплекса, соответствующую динамике рынка лесной продукции.

Ключевые слова: синхронизация, складирование, процесс, математическая модель.

УДК 303.732

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.17

Особенности взаимодействия трелевочного трактора с волоком

Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Андреев С.В.

Введение

От степени обоснованности и достоверности расчетных схем и математического моделирования взаимодействия трелевочной системы с опорной поверхностью зависит качество теоретического исследования, достоверности прогнозирования рабочих режимов и эффективности работы трелевочных тракторов в различных производственных условиях.

Первый в мире гусеничный трелевочный трактор был создан в середине 40-х годов на базе серийно выпускаемых агрегатов, механизмов и узлов с сохранением их функционального назначения и принципа работы. Следовательно, и разработка теории движения трелевочной системы базировалась на теории тракторов сельскохозяйственного и промышленного назначения. В дальнейшем, при создании колесных лесопромышленных тракторов и лесосечных машин использовалась теория движения автомобиля и колесных машин.

Условия эксплуатации трелевочного трактора принципиально отличаются от условий движения тракторов сельскохозяйственного назначения и автомобилей. Трактор сельскохозяйственного назначения в основном работает в равнинной местности или в местности со слабо пересеченным рельефом. Соответственно и теория его взаимодействия с почвой разрабатывалась без учета поперечного наклона (склона) поверхности. Автомобильные лесовозные дороги даже пятой категории (линии местного назначения и подъездные пути) имеют продольный наклон (уклон) оси не более $3...6^\circ$ [1]. Положением о лесосечных работах допускается работа трелевочных тракторов в летних условиях на

уклонах и склонах до 24° . При этом трелевочный волок может иметь одновременно подъем (спуск) в продольной оси, а склон – в поперечной.

В учебниках и научно-производственной литературе рассматривается взаимодействие трелевочного трактора (да и лесосечных машин) только при движении на подъеме без учета склона волока (рис. а). Это серьезный недостаток теории движения трелевочного трактора. Такое упрощение не отражает сущность взаимодействия трелевочного трактора с волоком в реальных условиях эксплуатации, особенно гусеничного трактора, и недопустимо при моделировании процессов, возникающих в зоне контакта гусеницы с грунтом, с целью прогнозирования рабочих режимов. В основных регионах России лесозаготовки ведутся в условиях резко пересеченного рельефа, когда трелевочный волок имеет склон в поперечной плоскости (рис. б)

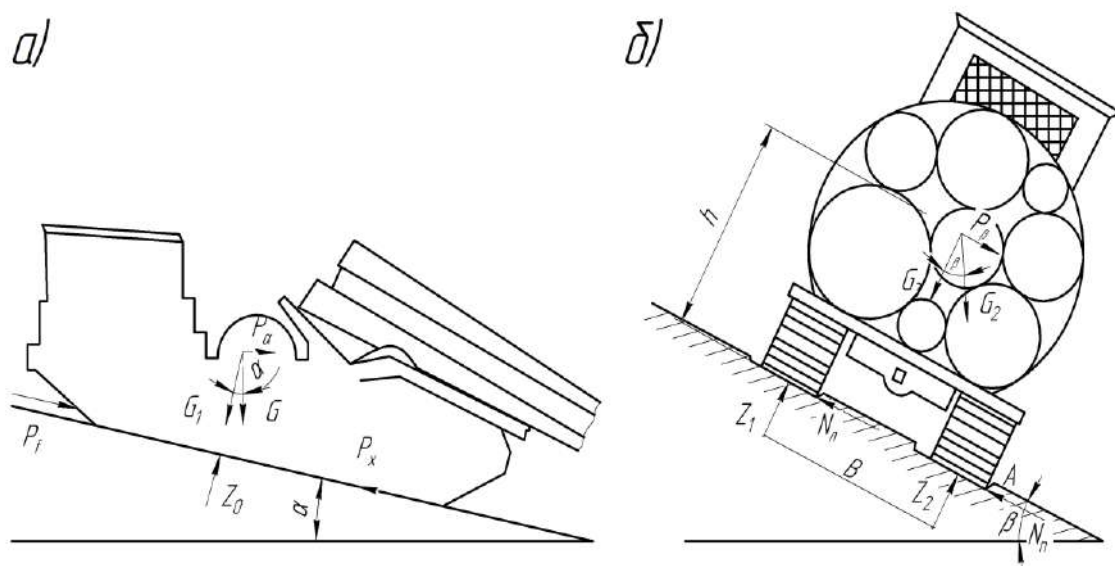


Рисунок. Расчетная схема

Цель работы – повышение достоверности и обоснованности теории прогнозирования рабочих режимов трелевочных тракторов при эксплуатации их на лесосеках с резко пересеченным рельефом.

Рассмотрим некоторые особенности взаимодействия гусеничного движителя с опорной поверхностью при движении трелевочного трактора по горизонтальному участку волока и по волоку, проложенному по склону. При движении по горизонтальному участку волока весь вес трелевочного трактора и части пачки, размещенной на щите, воздействует на поверхность двух гусениц, площадь которых у тракторов ТДТ-55 составляет около 2.06 м^2 . При массе трактора 9300 кг среднее давление движителя на волок составит 45 кПа , а с пачкой массой 6000 кг — 57 кПа .

При движении трелевочного трактора по волоку с уклоном в поперечной плоскости 24° около 41% его веса будет воздействовать на стенки колеи и

создавать реакции почвы N_L и N_P на торцевую часть гусеничных лент. Такое воздействие торцов гусениц с почвой сопровождается возникновением процессов, резко повышающих сопротивление движению трактора, уплотнение почвы и разрушение ее структуры. Составляющая веса трактора без пачки, движущегося по волоку с уклоном 24° будет $P_\beta = 37$ кН. При этом в зоне контакта торцов двух гусениц, площадь которых составляет всего 1500 см^2 , со стенками колеи возникает очень большое среднее давление – 0.247 МПа. Это давление в 5.46 раза превышает давление, возникающее в зоне контакта опорной поверхности гусениц с горизонтальным волоком. Следует отметить, что максимальное давление гусеничного движителя на опорную поверхность может превышать среднее в $3 \dots 4$ раза. Анализ сил, действующих на трактор (рис. б), показывает, что величина угла склона волока влияет на значение реакции почвы N_L и N_P . При схеме на рис. б торец правой гусеницы будет создавать в почве напряжения бóльших значений, чем торец левой гусеницы. Увеличение высоты центра масс за счет размещения на тракторе трелюемой пачки увеличит эту разницу напряжений в почве.

Экологи, почвоведы, исследователи ходовых систем сельскохозяйственных машин и тракторов с почвой обосновали предельные значения давлений на почвы сельскохозяйственных угодий. Установлено, что при давлении более 50 кПа наблюдается переуплотнение почв сельскохозяйственных угодий и разрушение их структуры. Все это сопровождается резким снижением плодородия и урожайности. Движители, создающие давление 50 кПа и менее, можно считать «экологически совместимыми» с почвой. Следовательно, при воздействии торцевой поверхности гусеницы на стенку колеи в почве могут создаваться напряжения, в несколько раз превышающие «экологический предел», что, естественно, сопровождается интенсивным переуплотнением и разрушением структуры почвы. Экологический ущерб увеличивается от динамического воздействия торцевых элементов гусеницы на почву при движении их на стенки колеи. Сущность этого процесса практически не исследована.

Следующая особенность воздействия торцевой поверхности гусеницы с колеей (торцевое воздействие) — сопротивление движению трактора. Одним из главных требований, предъявляемых к опорной поверхности звена гусеницы, да и в целом гусеницы, - минимизация значений коэффициента сопротивления качению движителя по опорной поверхности, и цель достигнута.

При воздействии торца гусеницы на стенку колеи ее элементы не опираются на поверхность, а под очень большим давлением врезаются в почву. Вход в колею звеньев гусеницы и выход из нее сопровождается перемещением элементов торцевой поверхности гусеницы по стенке с разрушением и

перемещением с большей скоростью частиц почвы. Можно априори утверждать, что коэффициент сопротивления движению по стенке колеи значительно выше коэффициента сопротивления качению гусеницы по волоку с нулевым углом склона. При движении гусеничного трелевочного трактора по волоку с поперечным склоном $20...24^\circ$ сила сопротивления движению, возникающая под действием реакций N_L и N_P , может быть соизмерима с силой сопротивления качению гусеничного движителя по дну колеи.

Разработка теории прогнозирования рабочих режимов трелевочного трактора, эксплуатируемого на лесосеках с резко пересеченным рельефом, должна базироваться на смешанном законе распределения суммы всех составляющих сопротивления движению, для определения которых необходимо разработать методику и математические модели.

Заключение.

В современной теории воздействия трелевочного трактора с опорной поверхностью не учитывается влияние реакции почвы, возникающей от поперечного склона волока, на сопротивление движению трелевочной системы, уплотнение и разрушение структуры почвы.

В работе предложена и обоснована новая концепция взаимодействия движителя с волоком, позволяющая резко повысить достоверность прогнозирования рабочих режимов трелевочных тракторов, особенно при эксплуатации их в условиях пересеченного рельефа лесосеки.

Библиографический список

1. Сухопутный транспорт леса /Под ред. Д-ра техн. наук, проф. В.И. Алябьева. М.: Лесная промышленность, 1990. 416 с.
2. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля: канд. техн. наук Л.: ЛТА, 1986. 198 с.
3. Анисимов Г.М., Перельман А.Я., Михайлов О.А. Метод получения обобщенного закона распределения свойств трелевочного волока. Межвуз. сб. науч.тр. Повышение эксплуатационной эффективности машин для лесозаготовок и лесного хозяйства. Л.: ЛТА, 1986. с.11-14

Сведения об авторах

ФИО	Михайлов Олег Андреевич
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 Григорий Сергеевич
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	Андреев 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	kerro07@mail.ru

Аннотация

В статье приводится теория прогнозирования рабочих режимов трелевочного трактора, эксплуатируемого на лесосеках с резко пересеченным рельефом, которая базируется на смешанном законе распределения суммы всех составляющих сопротивления движению. Обобщенный закон распределения свойств трелевочного волока складывается из четырех плотностей распределения коэффициентов сопротивления.

Ключевые слова: лесной волок, трелевочный трактор, поперечный наклон волока, реакция почвы.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.19

Обобщенный закон распределения параметров, определяющих свойства трелевочного волока

Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Волков А.Ф.

Введение

Специфика и особенности работы различных лесосечных машин значительно отличаются от условий работы сельскохозяйственных и промышленных гусеничных и колесных тракторов. В работах [1, 2] предложена методика получения обобщенного закона распределения свойств трелевочного волока формируемого тремя факторами. Это следующие силы сопротивления: 1) сила, обусловленная качением тягача и скольжением пачки леса, 2) сила, возникающая вследствие продольных уклонов волока, и 3) сила, противодействующая повороту транспортной системы. В этих работах не учитывались боковые уклоны волока.

Цель работы – получить обобщенный закон распределения свойств трелевочного волока, учитывающего четыре фактора.

Методы исследования.

В настоящей работе исследована методика отыскания плотности распределения сумм независимых случайных величин.

Результаты исследования.

Эксплуатационные режимы трелевочных тракторов определяются как результат совместного воздействия различных факторов описываемыми случайными величинами - силами сопротивления разной природы X_1, \dots, X_m , которые в первом приближении можно считать независимыми случайными величинами [1, 2]. Таким образом, закон распределения свойств трелевочного волока определяется функцией плотности распределения $f_x(x)$, где:

$$X = X_1 + \dots + X_m \quad (1)$$

Неизвестную плотность распределения $f_x(x)$ удобно отыскивать в терминах нормированной случайной величины:

$$Y = \frac{X - \alpha}{\sigma}; \alpha = MX; \sigma = \sqrt{DX} \quad (2)$$

где MX и DX соответственно математическое ожидание и дисперсия случайной величины X . Используем метод эталонных функций [3] для вычисления плотности распределения $f_x(x)$, а именно, представим $f_x(x)$ в виде

$$f_x(x) = f_0(x) \sum_{n=0}^{\infty} c_n p_n(x) \quad (3)$$

Здесь $f_0(x)$ некоторая эталонная плотность вероятности и $p_0(x), p_1(x), \dots$ – система ортонормированных полиномов с весом $f_0(x)$. Традиционные методы учета случайных сил сопротивления основаны на использовании только нормальных законов распределения. В [2, 4, 5] изучались случайные сопротивления (1) при $m = 3$, где X_1 – сила, обусловленная качением тягача и скольжением пачки леса, X_2 – сила, возникающая вследствие неровностей пути (продольные уклоны волока) и X_3 – сила, противодействующая повороту транспортной системы. Случайные силы сопротивления X_2 и X_3 описывались законами распределения Грама-Шарлье [3] с ненулевыми коэффициентами асимметрии. В [4-5] анализировались изменения режимов эксплуатации трелевочных тракторов, вызванных учетом указанных поправок к нормальному распределению на степень асимметрии.

Последние экспериментальные исследования, проводившиеся на полигоне-волоке Онежского тракторного завода, показывают, что значительное влияние на обобщенный закон распределения свойств трелевочного волока оказывает сила сопротивления, возникающая от боковых уклонов волока X_4 .

В настоящей работе дается методика отыскания плотности распределения сумм (1) независимых случайных величин, каждая из которых имеет произвольное распределение. В качестве весовой функции выберем:

$$f_0(x) = (2\pi)^{-0,5} \exp(-0,5x^2) \quad (4)$$

Тогда разложение (3) примет вид [2]

$$f(x) = f_0(x) \left[1 + \sum_{n=3}^{\infty} c_n (n!)^{-1} H_n(x) \right] \quad (5)$$

Здесь $H_n(x)$ – полиномы Эрмита (ортогональные с весом (4)),

$$H_n(x) = (-1)^n \sqrt{2\pi} \exp(-0,5x^2) f_0^{(n)}(x) \quad (6)$$

в частности,

$$\begin{cases} H_0(x) = 1, & H_1(x) = x, & H_2(x) = x^2 - 1; \\ & H_3(x) = x^3 - 3x. \end{cases} \quad (7)$$

В свою очередь, коэффициенты C_n ($n \geq 3$) вычисляются в терминах нормированных центральных моментов случайной величины X , в частности,

$$c_3 = \alpha_3, \quad c_4 = \alpha_4 - 3, \quad c_5 = \alpha_5 - 10\alpha_3, \quad c_6 = \alpha_6 - 15\alpha_4 + 30 \quad (8)$$

где $\alpha_n = \mu_n \sigma^{-n}$ и μ_n – центральные моменты X .

Плотность распределения $f_x(x)$ находится методом характеристических функций Ляпунова, т.е. с помощью преобразования Фурье в комплексной форме и его обращения [6]. А именно, вводится характеристическая функция плотности $f_x(x)$:

$$E_x(t) = M(e^{itx}) = \int_{-\infty}^{\infty} f_x(x) e^{itx} dx \quad (9)$$

Согласно [6], для нормированной нормальной случайной плотности распределения [4] находим:

$$E_x(t) = \exp(-0,5t^2) \quad (10)$$

В свою очередь, используя соотношение [6]

$$E_{\sigma x+a}(t) = e^{iat} E_x(\sigma t) \quad (11)$$

и известный интеграл (α – любые, $\beta > 0$)

$$\int_{-\infty}^{\infty} \exp(\alpha x - \beta^2 x^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{\beta} \exp(0,25\alpha^2 \beta^{-2}) \quad (12)$$

для плотности $f_{xk}(x)$ типа Грама-Шарлье [3] с параметрами a_k (математическое ожидание), σ_k (среднее квадратическое отклонение) и α_k (третий нормированный центральный момент) находим [2]

$$E_{x_k}(t) = E(t; a_k; \sigma_k) \left[1 + \frac{1}{6} \alpha_k \sigma_k^3 (it)^3 \right] \quad (13)$$

где

$$E(t; a; \sigma) = \exp(iat - 0,5\sigma^2 t^2) \quad (14)$$

В силу основного свойства характеристической функции (9), примененному к сумме независимых случайных величин (1), получаем

$$E_x(t) = E_{x_1}(t) \dots E_{x_m}(t) \quad (15)$$

Формулы (13)-(15) дают

$$E_x(t) = E(t; a; \sigma) \left[1 + \frac{\alpha_1 \sigma_1^3 + \dots + \alpha_m \sigma_m^3}{3!} (it)^3 + \dots \right] \quad (16)$$

Выписанный член в квадратных скобках представляет собой главную часть характеристической функции искомой плотности распределения $f_x(x)$. Применяя обратное преобразование Фурье, получаем

$$f_x(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} E_x(t) e^{-itx} dt. \quad (17)$$

Из формул (16) и (17) находим:

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma} f_0\left(\frac{x-a}{\sigma}\right) \left[1 + \frac{\alpha}{3!} H_3\left(\frac{x-a}{\sigma}\right) \right] \quad (18)$$

где

$$\begin{cases} a = a_1 + \dots + a_m; \\ \sigma^2 = \sigma_1^2 + \dots + \sigma_m^2; \\ \alpha = \frac{\alpha_1 \sigma_1^3 + \dots + \alpha_m \sigma_m^3}{\sigma^3} \end{cases} \quad (19)$$

Здесь a_k , σ_k , α_k – параметры случайных сил сопротивления X_k , входящих в соотношение (1).

Проиллюстрируем влияние составляющей X_4 на обобщенный закон распределения свойств трелевочного волокна.

В примере рассмотренном в [2] свойства волокна определялись следующими коэффициентами сопротивления (безразмерными аналогами сил сопротивления):

— коэффициентом сопротивления движению трелевочной системы $X_1 = f_c$ с $a_1 = 0,200$; $\sigma_1 = 0,066$; $\alpha_1 = 0$;

— продольным уклоном волокна $X_2 = i$ с $a_2 = 0,003$; $\sigma_2 = 0,077$; $\alpha_2 = -0,020$;

— коэффициентом сопротивления повороту $X_3 = f_n$ с $a_3 = 0,020$; $\sigma_3 = 0,007$; $\alpha_3 = 0,038$;

Теперь учтем $X_4 = f_i$ с $a_4 = 0,015$; $\sigma_4 = 0,053$; $\alpha_4 = -0,010$.

Следовательно, обобщенный закон сопротивления описывается формулами (18) и (19):

$$\Psi = f_c + i + f_{\Pi} + f_i \quad (20)$$

На рис представлены плотности распределения суммарного коэффициента сопротивления и четырех его составляющих.

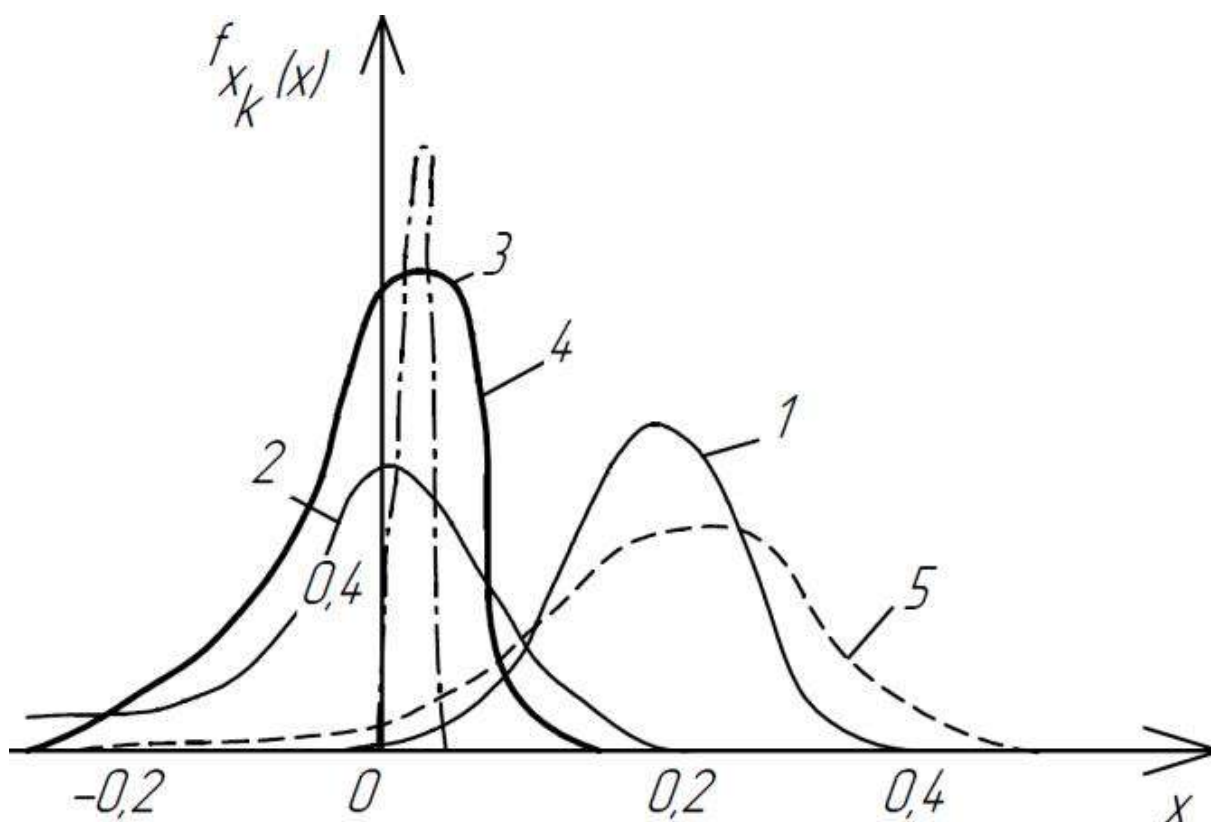


Рисунок. Плотности распределения составляющих коэффициентов сопротивления:
1 – движения трелевочной системы; 2 – продольных уклонов волока; 3 – поворота;
4 – боковых уклонов волока; 5 – обобщенный закон распределения

Результаты расчетов ψ при $m = 3$ [2] и при $m = 4$ показывают, что составляющая f_i значимо влияет на плотность обобщенного закона распределения свойств трелевочного волока даже при его малых боковых уклонах.

Заключение.

Таким образом, из данных экспериментов, проведенных на полигоне-волоке ОТЗ, следует учитывать составляющую f_i в представлении (20) для реальных производственных условий.

Библиографический список

1. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Л.: ЛТА, 1986 – 198 с.
2. Анисимов Г.М., Перельман А.Я., Михайлов О.А. Метод получения обобщенного закона распределения свойств трелевочного волока. Межвузовский сборник научных трудов. Повышение эксплуатационной эффективности машин для лесозаготовок и лесного хозяйства. Л.: ЛТА, 1986. с. 11–14.
3. Пугачев В.С. Теория случайных функций. М.: Физматиз, 1962 – 884 с.

4. Анисимов Г.М., Перельман А.Я., Михайлов О.А. Прогнозирование времени движения трелевочной системы на отдельных передачах. // Изв. вузов. Лесной журнал. 1986. №5. с. 30–33.
5. Анисимов Г.М., Перельман А.Я., Михайлов О.А. Прогнозирование вероятности использования передаточных чисел трансмиссии трелевочного трактора. // Тракторы и сельхозмашины. 1989. №4. с. 17–19.
6. Чистяков В.П. Курс теории вероятностей. М.: Агар, 1996. 255 с.

Сведения об авторах

ФИО	Михайлов Олег Андреевич
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 Григорий Сергеевич
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	Волков А.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	volcharsonzz@mail.ru

Аннотация

В статье получена зависимость, из которой следует учитывать составляющую боковых уклонов волока при расчете обобщенного закона распределения параметров, определяющих свойства трелевочного волока. Экспериментальные исследования, проводившиеся на полигоне-волоке Онежского тракторного завода, показывают, что значительное влияние на обобщенный закон распределения свойств трелевочного волока оказывает сила сопротивления, возникающая от боковых уклонов волока.

Ключевые слова: лесосечная машина, обобщенный закон распределения, трелевочный трактор, боковой уклон волока.

УДК 630.36.003

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.19

Математические модели образования колеи, сопротивления перемещению и сцепления колесного движителя лесосечных машин на снегу

Тарадин Г.С., Андронов А.В., Михайлов О.А., Давидов А.В.

Введение

В предыдущих работах рассматривались вопросы связанные только со сжатием снега под воздействием колесного движителя лесосечных машин. Но для составления корректной математической модели взаимодействия колесного движителя со снегом необходимо проанализировать свойства опорной поверхности и их изменение при уплотнении.

Для составления корректной математической модели взаимодействия движителя со снегом проанализируем свойства опорной поверхности и их изменение при уплотнении. Обратимся к сведениям о физико-механических свойствах снега. В работе [1] представлены формулы, связывающие модуль деформации E [МПа], удельное сцепление C_0 [МПа], угол внутреннего трения φ [°] и коэффициент трения резины о снег $\varphi_{\text{тр}}$ с его удельным весом γ [МН/м³] и температурой T [°С]. Зависимости указанных свойств от удельного веса имеют степенной характер, причем коэффициенты в уравнениях изменяются в зависимости от температуры.

Ранее в работе [2] приводилась математическая зависимость позволяющая определять сжатие деформируемого снежного массива под воздействием колесного движителя, однако общая деформация массива состоит не только из сжатия, но и из сдвига слоев снега [2].

Цель работы – получить зависимости позволяющие составить корректную математическую модель взаимодействия движителя лесосечных машин со снежным покровом на лесосеке

Результаты исследования

В работе [2] приводится уравнение позволяющее определять сжатие деформируемого снежного массива под воздействием колесного движителя, однако общая деформация массива состоит не только из сжатия, но и из сдвига слоев снега. Как было отмечено ранее [2], деформации сдвига стремительно развиваются по мере приближения давления p несущей способности q_z , увеличивая общую деформацию h_f . Это явление принято учитывать при расчете общей деформации следующим образом [1], [3]:

$$h_f = \frac{q_z}{q_z - p} h \quad (1)$$

В исследуемой задаче деформируемый снежный массив находится на жестком основании – мерзлом грунте, влияние которого увеличивает несущую способность снега. При определении несущей способности массивов

ограниченной толщины принято пользоваться двумя величинами: несущей способностью массива неограниченной толщины и коэффициентом учета влияния близлежащего жесткого слоя. Воспользуемся предельным давлением p_z в качестве аналога несущей способности снежного массива неограниченной толщины, тогда [1], [3]:

$$q_z = p_z \alpha_H \quad (2)$$

где α_H – коэффициент учета влияния близлежащего жесткого основания.

Предельное давление p_z зависит от плотности снега [2]. Перепишем уравнение из [2], выразив ρ через ρ_0 и ε :

$$p_z = a_{p_z} \left(\frac{\rho_0}{1 - \varepsilon} \right)^{b_{p_z}} \quad (3)$$

или

$$p_z = p_{z0} \left(\frac{1}{1 - \varepsilon} \right)^{b_{p_z}} \quad (4)$$

где p_{z0} – предельное давление по нормали при $\rho = \rho_0$.

Кроме того, относительная деформация массива ε связана со сжатием:

$$\varepsilon = \frac{h}{H} \quad (5)$$

Коэффициент повышения несущей способности за счет уменьшения толщины деформируемого слоя под воздействием движителя рассчитаем по уравнению:

$$\alpha_H = 1 + \frac{1}{2p_{z0}} p \quad (6)$$

После подстановки в уравнение (1) выражений, описывающих сжатие снега [2], запишем:

$$h_f = \frac{\alpha p_{z0} ((1 - \chi p) p C + 1)^{b_{p_z}}}{\alpha p_{z0} ((1 - \chi p) p C + 1)^{b_{p_z}} - p} \cdot \frac{(1 - \chi p) p C}{1 + (1 - \chi p) p C} H \quad (7)$$

$$h_f = \frac{(p + 2p_{z0}) ((1 - \chi p) p C + 1)^{b_{p_z}}}{(p + 2p_{z0}) ((1 - \chi p) p C + 1)^{b_{p_z}} - 2p} \cdot \frac{(1 - \chi p) p C}{1 + (1 - \chi p) p C} H \quad (8)$$

Уравнение (8) позволяет определить фактическую глубину колеи в зависимости от физико-механических свойств снежного массива, давления со стороны движителя и геометрических параметров пятна контакта с учетом упрочнения снега под воздействием колесного движителя.

Силу сопротивления движителю со стороны деформируемого снега определим как интеграл [1], [3]:

$$F_r = B \int_0^{h_f} p dh_f \quad (9)$$

Воспользуемся формулой взятия определенного интеграла по частям, при этом учтем, что переменные h_f и p зависят друг от друга:

$$F_r = B \int_0^{h_f} p dh_f = B h_f p \Big|_0^p - B \int_0^p h_f dp \quad (10)$$

Для взятия интеграла представим подынтегральную функцию в (10) в виде полинома Тейлора:

$$h_f = \frac{p_{z0} \left((1 - \chi p) p C + 1 \right)^{b_{pz}}}{p_{z0} \left((1 - \chi p) p C + 1 \right)^{b_{pz}} - p} \cdot \frac{(1 - \chi p) p C}{1 + (1 - \chi p) p C} H = q \approx \sum_{n=1}^k \frac{q^n}{n!} p^n \approx \sum_{n=1}^k \zeta_n p^n \quad (11)$$

где q^n – производная функции q порядка n по p в точке 0, коэффициенты ζ_n при p^n

$$\zeta_1 = CH$$

$$\zeta_2 = \frac{CH}{p_{z0}} \{1 - p_{z0} (C - \chi)\} \quad (12)$$

$$\zeta_3 = \frac{CH}{p_{z0}^2} \left\{ \frac{1}{2} + C p_{z0}^2 (C - 2\chi) - p_{z0} \left((b_{pz} + 1) C - \chi \right) \right\}$$

...

Тогда запишем уравнение (9) таким образом:

$$F_r \approx B \cdot \left(h_f p - \sum_{n=1}^k \zeta_n \int_0^p p^n dp \right) \quad (13)$$

Определенные интегралы от степеней n давления p по формуле (13):

$$\xi_1 = \frac{1}{2} p^2$$

$$\xi_2 = \frac{1}{3} p^3 \quad (14)$$

$$\xi_3 = \frac{1}{4} p^4$$

...

Расчеты, выполненные в тех же диапазонах варьирования исходных данных, что и ранее, показывают, что в формуле (13) можем без существенной потери точности принять $k = 2$, тогда:

$$F_r = B C H p^2 \left(\frac{-(p + 2p_{z0})(1 + C \chi p^2 - (C + 2\chi)p)(1 + (p - \chi p^2)C)^{b_{pz}} + 2C \chi p^3 - 2C p^2 - 2p}{2(C \chi p^2 - C p - 1)(p + 2p_{z0})(1 + (p - \chi p^2)C)^{b_{pz}} - 2p} \right) \quad (15)$$

Сила сцепления движителя с опорной поверхностью определится как сумма двух составляющих – силы трения резины о снег F_{mp} и сопротивления снега сдвиговой деформации F_{τ} [1], [3]:

$$F_T = F_{mp} + F_{\tau} = \varphi_{mp} G_w + B \int_0^L \tau dx \quad (16)$$

где G_w – нагрузка на движитель, τ – напряжение сдвига, x – горизонтальная координата, отсчитываемая от начала пятна контакта движителя с опорной поверхностью.

Функцию напряжение сдвига определим, воспользовавшись известным уравнением для расчета деформации сдвига [1], [3]:

$$j = \frac{\tau}{G} t_2 \cdot \frac{\tau_{\max}}{\tau_{\max} - \tau} \quad (17)$$

где τ – сдвиговое напряжение, τ_{\max} – максимальное сопротивление сдвигу, t_2 – шаг грунтозацепов, G – модуль сдвига.

Выразим τ из уравнения (17)[1], [3]:

$$\tau = \frac{jG\tau_{\max}}{jG + t_2\tau_{\max}} \quad (18)$$

При этом деформация сдвига связана с коэффициентом буксования уравнением [1], [3]:

$$j = Sx \quad (19)$$

где S – коэффициент буксования.

Максимальное сопротивление сдвигу определим по зависимости [1], [3]:

$$\tau_{\max} = p \operatorname{tg} \varphi + C_0 \left(1 - \frac{j}{t_2} \right) \quad (20)$$

Интегрирование выражения по формуле (16) с учетом выражений (18) – (20) приводит к следующему уравнению для F_{τ} :

$$F_T = \varphi_{mp} G_w + \frac{BG^2 L (p \operatorname{tg} \varphi + C_0)}{(G - C_0)^2} - S \cdot \frac{BC_0 GL^2}{2t_2 (G - C_0)} - \frac{1}{S} \cdot \frac{(p \operatorname{tg} \varphi + C_0)^2 BG^2 t_2}{(G - C_0)^3} \ln \left(1 + S \frac{L(G - C_0)}{t_2 (p \operatorname{tg} \varphi + C_0)} \right) \quad (21)$$

Величина угла внутреннего трения φ зависит от плотности снега. Модуль сдвига снега G [МПа] определим в зависимости от плотности ρ [г/см³] по уравнению [4]:

$$G = 0,29\rho \quad (22)$$

В уравнениях [2] и (22) плотность следует определять по уравнениям [2] и (5) поскольку сцепление определяется при взаимодействии движителя с уже уплотненным снегом.

Заключение

По результатам исследований получены формулы для расчета глубины колеи (8), образующейся под воздействием колесного движителя лесной машины, силы сопротивления (15) и силы сцепления движителя с опорной поверхностью (21). Аналитические зависимости получены на основе решения задачи о вдавливании штампа в упрочняющуюся среду, механические свойства которой являются степенными функциями плотности среды, изменяющейся под воздействием штампа.

Библиографический список

1. Ларин В.В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности.: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Москва, 2007
2. Тарадин Г.С. Исследование колееобразования и тягово-сцепных свойств движителей колесных лесных машин при работе на заснеженных лесосеках.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / СПбГЛТУ им. С.М. Кирова. Санкт-Петербург, 2020 – 115 с.
3. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
4. Лухминский В.А. Совершенствование моделей и методов прогнозирования проходимости гусеничных лесных машин.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Архангельский С(А)ФУ, Архангельск, 2018, 179 с.

Сведения об авторах

ФИО	Тарадин Григорий Сергеевич
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	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	8345-3722
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
ФИО	Михайлов Олег Андреевич
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 Давидов А.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3746-7770
e-mail Andrevv97@gmail.com

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы, связанные с получением математических моделей образования колеи, сопротивления перемещению и сцепления колесного движителя лесосечных машин на снегу. Аналитические зависимости получены на основе решения задачи о вдавливании штампа в упрочняющуюся среду, механические свойства которой являются степенными функциями плотности среды, изменяющейся под воздействием штампа.

Ключевые слова: колесный движитель, трелевочный трактор, лесосека, снежный массив, математическая модель.

УДК 630*3

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.19

Расчет фактического давления на заснеженную поверхность и учет цикличности приложения нагрузки лесосечных машин

Тарадин Г.С., Андронов А.В., Михайлов О.А., Давидов А.В.

Введение

При моделировании взаимодействия колесных движителей лесосечных машин с заснеженными поверхностями имеет важное значение расчет фактического давления на эту поверхность с учетом цикличности приложения нагрузки. До настоящего времени взаимодействие движителей лесных машин с опорными поверхностями рассматривалось преимущественно при постоянных значениях механических свойств грунтов.

Цель работы – получить фактические значения давления колесного движителя лесосечных машин на рыхлый снег и на снег средней плотности.

Методы исследования: методы теории движения гусеничных и колесных машин по бездорожью.

Результаты исследования

Номинальное давление движителя на опорную поверхность q рассчитаем с учетом рекомендаций [1]. Для колесного движителя:

$$q = \frac{G_w}{BL} = \frac{G_w}{BR} \quad (1)$$

где G_w – приведенная нагрузка на колесо (частное веса машины и общего числа колес), R – радиус колеса.

Для колесно-гусеничного движителя [1]:

$$q = \frac{2G_w}{BL} = \frac{2G_w}{B(1,25R + A)} \quad (2)$$

где A – межосевое расстояние.

Для учета многократного воздействия движителя на заснеженную поверхность при последовательном проходе колес по следу воспользуемся следующим подходом: будем использовать значение давления p с учетом поправочного коэффициента на длительность воздействия нагрузки [2], [3]:

$$p = q \cdot k_d \quad (3)$$

где k_d – повышающий коэффициент, учитывающий суммарное время воздействия машины на снег.

Коэффициент k_d представляет собой соотношение мгновенной деформации опорной поверхности ε и ее действительное значение ε_0 , определяемое с учетом времени воздействия и реологической модели опорной поверхности:

$$k_d = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} \quad (4)$$

Значение ε_0 определим по формуле:

$$(5)$$

Известно, что поведение снега при уплотнении описывается реологической моделью Гогенемзера-Прагера. Тогда значение ε найдем из решения дифференциального уравнения:

$$\sigma + \frac{\eta}{E + E_0} \frac{d\sigma}{dt} = \frac{EE_0}{E + E_0} \varepsilon + \frac{E\eta}{E + E_0} \frac{d\varepsilon}{dt} \quad (6)$$

где η – вязкость снега, E_0 – модуль длительной деформации, t – время воздействия.

При $\sigma = \text{const}$ $\varepsilon(0) = \varepsilon_0$ получим решение уравнения (6):

$$\varepsilon = \frac{\sigma}{E} + \frac{\sigma}{E_0} \left(1 - \exp\left(-\frac{E_0}{\eta} t\right) \right) \quad (7)$$

Тогда коэффициент k_d по формуле (2):

$$k_d = 1 + \frac{E}{E_0} \left(1 - \exp\left(-\frac{E_0 t}{\eta}\right) \right) \quad (8)$$

Суммарное время воздействия машины на грунт определим по уравнению [4]:

$$t = n \frac{L}{v} \quad (9)$$

где v – скорость поступательного движения машины, n – число последовательных проходов движителя по следу (для форвардера 8x8 $n = 4$, $L = R$; для форвардера 8x8, оснащенного моногусеницами, $n = 2$, $L = 1,25R + A$).

Ориентируясь на [1], примем зависимость η [МПа·с] от ρ [г/см³]:

$$\eta = \frac{1}{\rho} \quad (10)$$

Согласно [1], соотношение η и E_0 следующее:

$$\frac{\eta}{E_0} = \frac{1}{2\varphi} \quad (11)$$

Тогда E_0 [МПа] определим в зависимости от ρ [г/см³], φ [°] по формуле:

$$E_0 = \frac{2\varphi}{\rho} \quad (12)$$

С учетом формул [1], коэффициент k_d зависит от ρ , t , зависимость проиллюстрирована на рисунке.

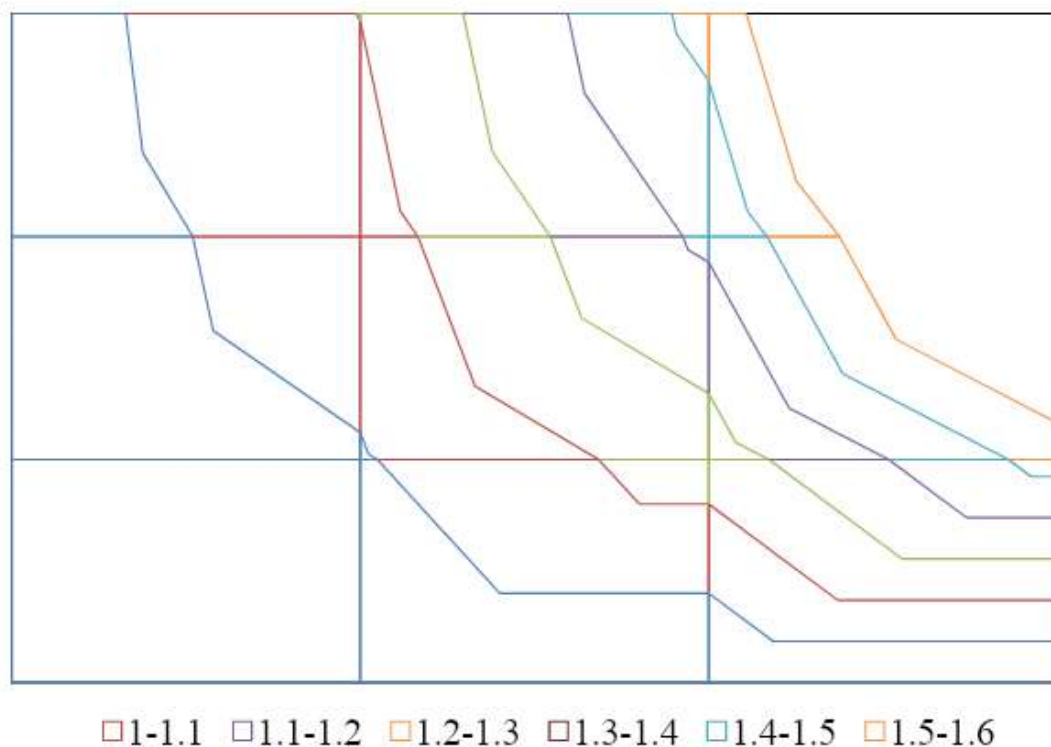


Рисунок. Зависимость повышающего коэффициента к номинальному давлению от плотности снега и длительности воздействия

Результаты расчетов показывают, что при расчете показателей воздействия движителя на рыхлый снег фактическое давление движителя следует принимать на 5-7% выше номинального, при расчете воздействия на снег средней плотности фактическое давление выше номинального на 15-20%.

Заключение

По результатам вычислений с использованием реологической модели снега Гогенемзера-Прагера установлено, что для учета цикличности и времени воздействия движителя на заснеженную опорную поверхность, фактическое давление движителя следует принимать на 5-7% выше номинального при расчете показателей воздействия движителя на рыхлый снег; при расчете воздействия на снег средней плотности фактическое давление следует принимать выше номинального на 15-20%.

Глубина колеи, образующейся при движении форвардера по рыхлому снегу, при давлении 0,04-0,08 МПа составляет 60-80% от толщины снежного покрова, уплотнение снега составляет 20-30%. В том же диапазоне давления при работе на снегу средней плотности глубина колеи составит 30-40% от толщины снежного слоя, а уплотнение будет находиться в пределах 10%. Расчетное значение глубины колеи при работе на плотной снежной поверхности не превышает 15% толщины слоя снега, уплотнение незначительно и находится в пределах 5%.

Библиографический список

1. Тарадин Г.С. Исследование колееобразования и тягово-сцепных свойств движителей колесных лесных машин при работе на заснеженных лесосеках.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / СПбГЛТУ им. С.М. Кирова. Санкт-Петербург, 2020 – 115 с.
2. Бабков В.Ф., Безруков М.В. Основы грунтоведения и механики грунтов. М.: Высшая школа, 1976. - 328 с.
3. Хахина А.М. Оценка коэффициента динамичности нагрузки на лесной почвогрунт. Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практики. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 361-364.
4. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.

Сведения об авторах

ФИО	Тарадин Григорий Сергеевич
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	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	8345-3722
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
ФИО	Михайлов Олег Андреевич
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	Давидов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3746-7770
e-mail	Andrevv97@gmail.com

Аннотация

Статья посвящена расчету фактического давления на заснеженную поверхность и учету цикличность приложения нагрузки лесосечных машин. Получены фактические значения давления колесного движителя лесосечных машин на рыхлый снег и на снег средней плотности. По результатам вычислений с использованием реологической модели снега Гогенемзера-Прагера установлено, что для учета цикличности и времени воздействия движителя на заснеженную опорную поверхность, фактическое давление движителя следует принимать на 5-7 % выше номинального при расчете показателей воздействия движителя на рыхлый снег; при расчете воздействия на снег средней плотности фактическое давление следует принимать выше номинального на 15-20 %.

Ключевые слова: колесный движитель, лесосека, снежный массив, математическая модель, заснеженная поверхность.

УДК 630*3

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.19

Результаты реализации математических моделей колесного движителя на заснеженной лесосеке

Тарадин Г.С., Михайлов О.А., Давидов А.В.

Введение

В работах [1-4] приводятся математические зависимости и модели, которые описывают физико-механические свойства взаимодействия опорной поверхности с движителем и процесс сжатия снега. Получены уравнения позволяющие определить фактическую глубину колеи, сопротивления перемещению, сцепление движителя с опорной поверхностью. Также в работах [1-4] представлен расчет фактического давления на заснеженную поверхность и учет цикличности приложения нагрузки.

Цель работы – используя математические модели [1-4], получить конкретные зависимости для колесного форвардера 8х8, с различными вариантами ходовой системы.

Методы исследования: методы теории движения колесных лесосечных машин.

Результаты

Разработанная математическая модель взаимодействия движителя с заснеженной опорной поверхностью учитывает основные параметры снега и движителя при расчете колееобразования и тягово-сцепных свойств лесной машины.

Входными параметрами математической модели, характеризующими снег, являются начальная плотность снега ρ_0 и толщина снежного покрова H . В зависимости от ρ_0 определяется модуль деформации снега до воздействия движителя E_0 и предельное давление движителя вблизи потери несущей способности p_{z0} [1-4]

Входными параметрами движителя являются ширина B , радиус колеса R , приведенная нагрузка на колесо G_w , скорость машины v , шаг грунтозацепов t_r , для колесного движителя дополнительно задается межосевое расстояние A . При заданных значениях параметров B , R , G_w , v , A , рассчитывается длина пятна контакта L и номинальное давление на опорную поверхность q , а также коэффициент учета длительности воздействия k_d [1-4]

Результаты расчетов при $v = 1,4$ м/с, $t_r = 0,14$ м представлены на рисунках 1 – 6. Расчеты выполнены для колесного форвардера 8х8 без съемных средств повышения проходимости и для форвардера, оснащенного моногусеницами. Диапазон давления движителя на опорную поверхность варьировался от 0 до 0,1 МПа, что позволяет распространить результаты на приведенную нагрузку до 0,06 МПа (тяжелый колесный форвардер при полной загрузке кузова).

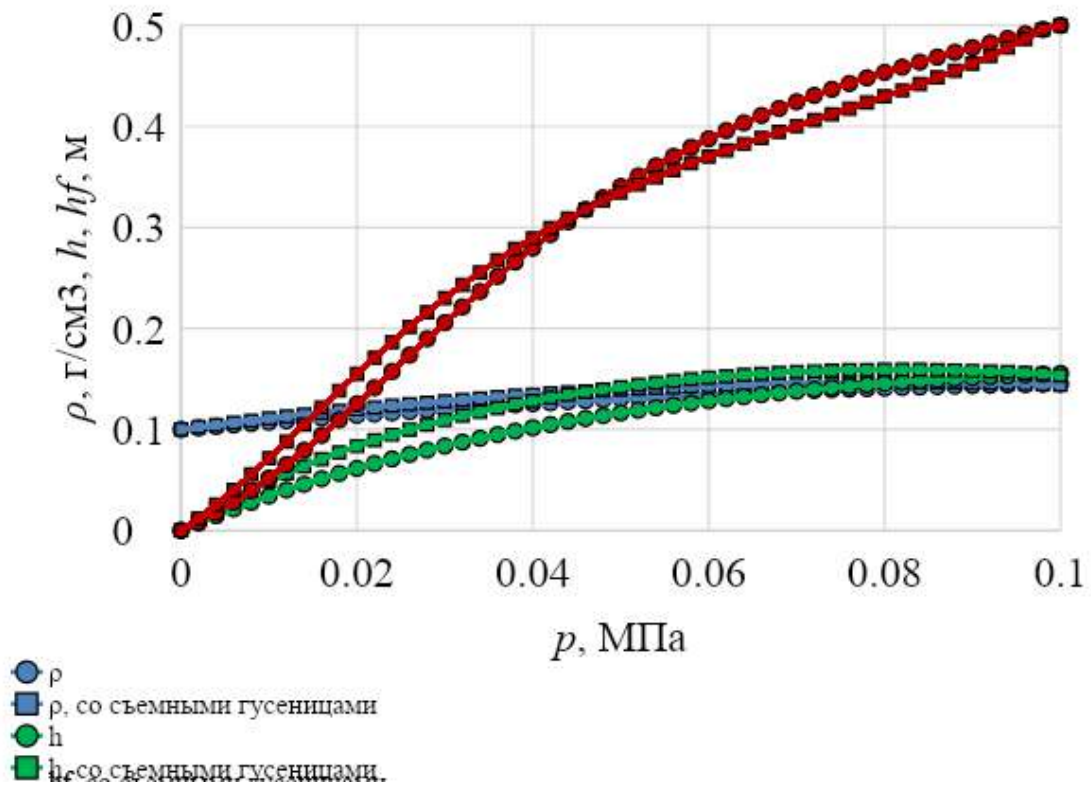


Рисунок 1. Сжатие рыхлого снега и глубина колеи под воздействием движителя ($V = 0,7$ м, $L = 0,8$ м для колесного движителя, $L = 2,12$ для колесно-гусеничного движителя, $\rho_0 = 0,1$ г/см³, $H = 0,5$ м)

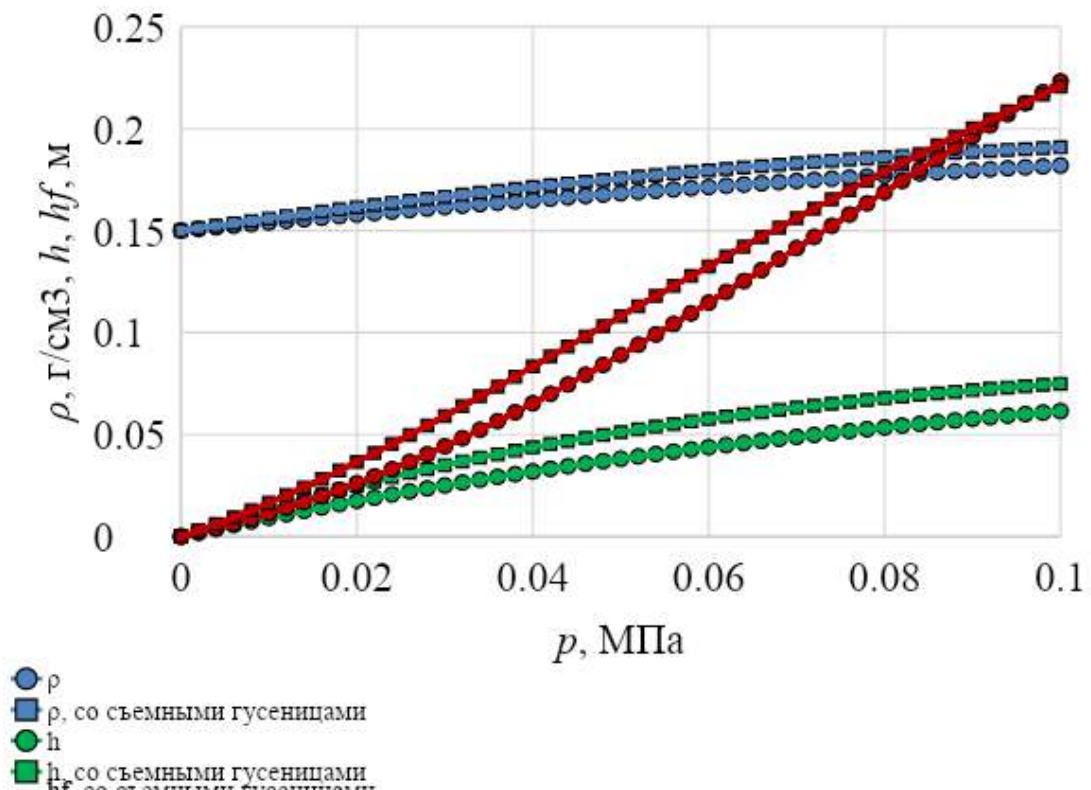


Рисунок 2. Сжатие снега средней плотности и глубина колеи под воздействием движителя ($V = 0,7$ м, $L = 0,8$ м для колесного движителя, $L = 2,12$ для колесно-гусеничного движителя, $\rho_0 = 0,15$ г/см³, $H = 0,35$ м)

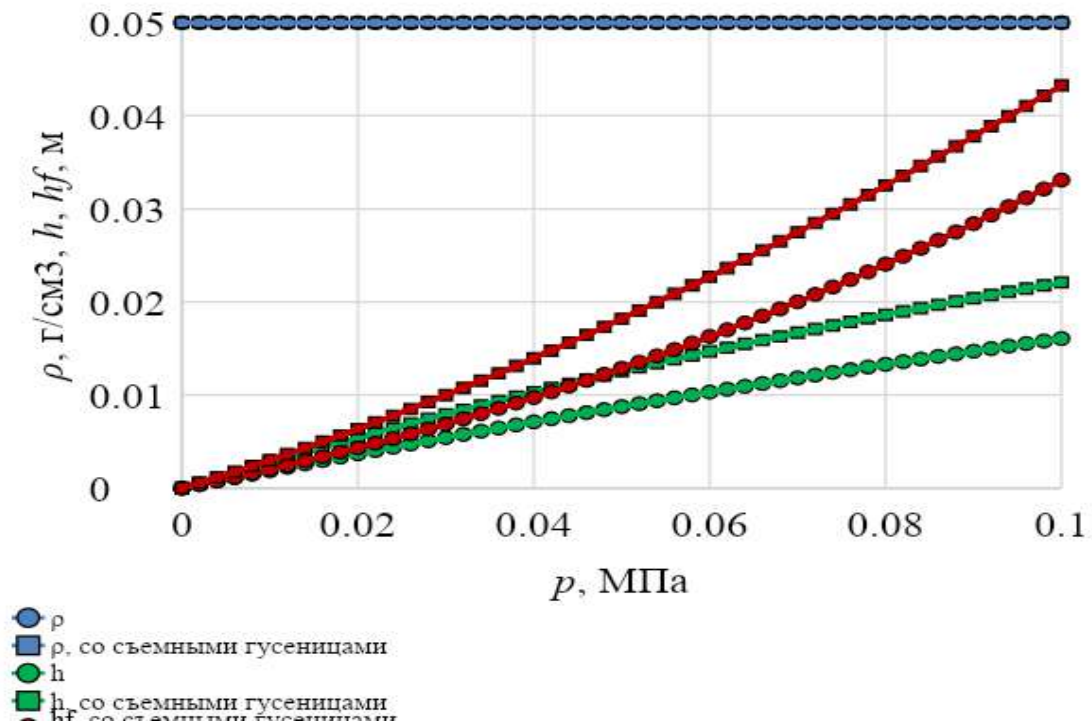


Рисунок 3. Сжатие плотного снега и глубина колеи под воздействием движителя ($B = 0,7$ м, $L = 0,8$ м для колесного движителя, $L = 2,12$ для колесно-гусеничного движителя, $\rho_0 = 0,25$ г/см^3 , $H = 0,25$ м)

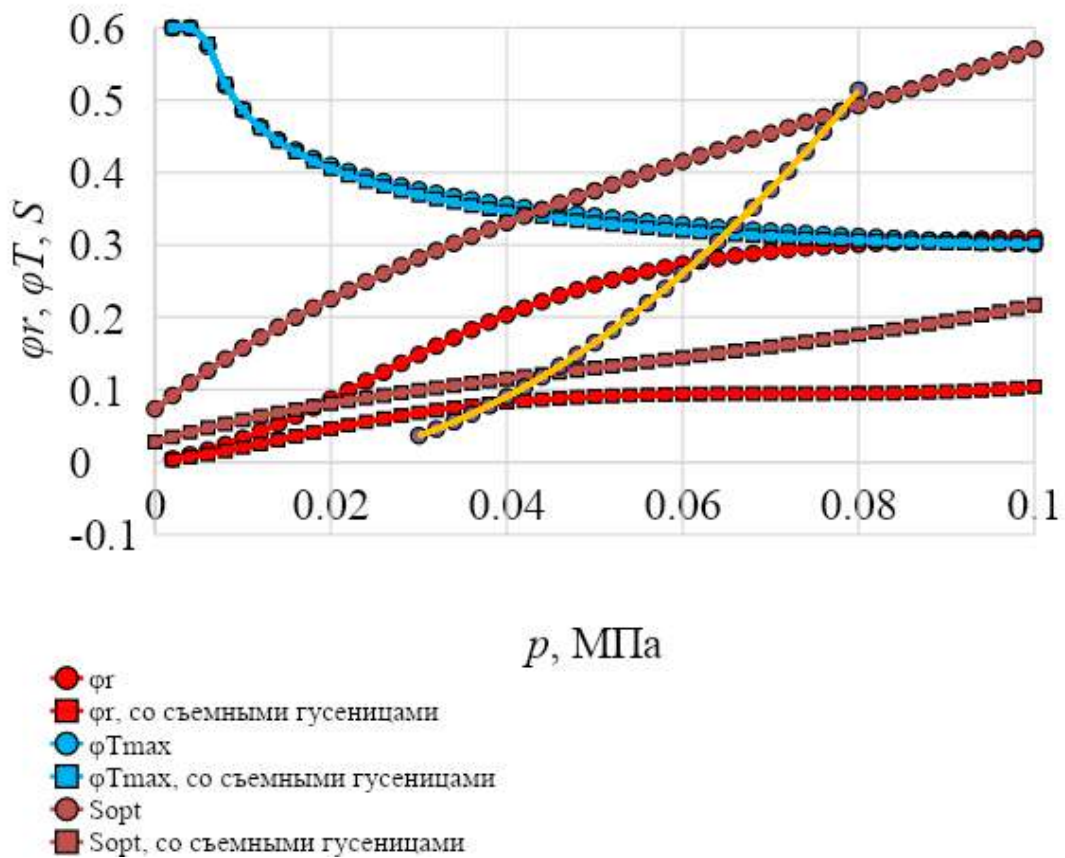


Рисунок 4. Тягово-сцепные свойства движителя при работе на рыхлом снегу ($B = 0,7$ м, $L = 0,8$ м для колесного движителя, $L = 2,12$ для колесно-гусеничного движителя, $\rho_0 = 0,1$ г/см^3 , $H = 0,5$ м)

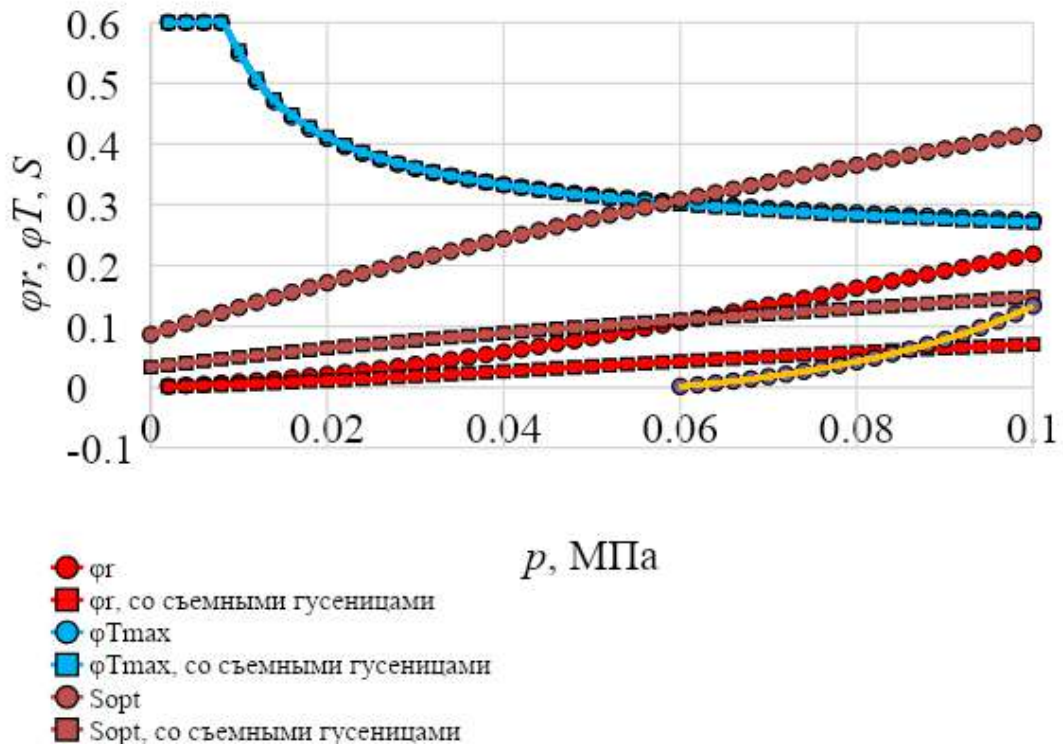


Рисунок 5. Тягово-сцепные свойства движителя при работе на снеге средней плотности ($B = 0,7 \text{ м}$, $L = 0,8 \text{ м}$ для колесного движителя, $L = 2,12$ для колесно-гусеничного движителя, $\rho_0 = 0,15 \text{ г/см}^3$, $H = 0,35 \text{ м}$)

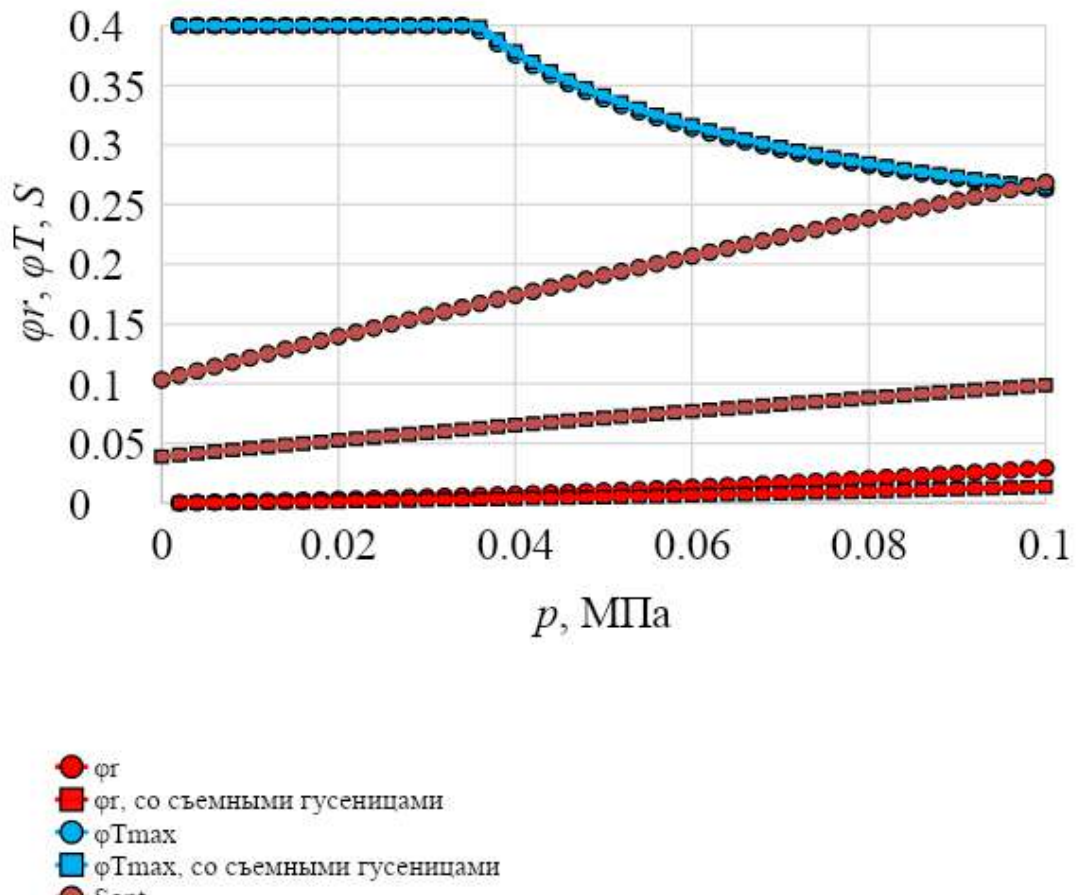


Рисунок 6. Тягово-сцепные свойства движителя при работе на снеге высокой плотности ($B = 0,7 \text{ м}$, $L = 0,8 \text{ м}$ для колесного движителя, $L = 2,12$ для колесно-гусеничного движителя, $\rho_0 = 0,25 \text{ г/см}^3$, $H = 0,25 \text{ м}$)

Анализ графиков показывает, что глубина колеи, образующейся при движении форвардера по рыхлому снегу, при давлении 0,04-0,08 МПа составляет 60-80 % от толщины снежного покрова, уплотнение снега составляет 20-30%. В том же диапазоне давления при работе на снегу средней плотности глубина колеи составит 30-40 % от толщины снежного слоя, а уплотнение будет находиться в пределах 10 %. Расчетное значение глубины колеи при работе на плотной снежной поверхности не превышает 15 % толщины слоя снега, уплотнение незначительно и находится в пределах 5 %.

Заключение

Анализ расчетных данных показывает, что при работе на рыхлом снегу коэффициент сопротивления движению колесного форвардера составляет 0,2-0,3, увеличиваясь по мере возрастания давления движителя на опорную поверхность. Максимальный коэффициент сцепления движителя находится в пределах 0,3-0,35, причем коэффициент буксования возрастает от 0,1 до 0,6 в диапазоне давления 0,04-0,08 МПа. При давлении 0,08 МПа и выше колесный движитель, не оснащенный съемными средствами повышения проходимости, теряет опорную проходимость на рыхлом снегу. Оснащение машины моногусеницами позволяет снизить коэффициент сопротивления движению до 0,1-0,15, коэффициент сцепления составит 0,3-0,35 при буксовании в пределах 10-20 %.

При работе на снегу средней плотности коэффициент сопротивления движению составляет 0,1-0,2. Максимальный коэффициент сцепления движителя находится в пределах 0,3-0,35 при буксовании 25-35 %. Опорная проходимость обеспечивается при буксовании 10 %. Оснащение колесной машины моногусеницами позволяет снизить коэффициент сопротивления движению до 0,05-0,1, при этом максимальный коэффициент сцепления составит 0,3-0,35 при буксовании в пределах 10-15 %. Опорная проходимость машины будет обеспечена и без буксования.

На плотном снегу потеря опорной проходимости в исследованном диапазоне давления не происходит. Максимальный коэффициент сцепления составляет 0,3-0,4 при коэффициенте сопротивления движению до 0,1 как для машин, оснащенных моногусеницами, так и для машин без съемных средств повышения проходимости. Буксование, при котором обеспечивается максимальное сцепление с опорной поверхностью, не превышает 10 % для машин с моногусеницами и 25 % для машин без них. Опорная проходимость машины обеспечена и без буксования.

Библиографический список

1. Тарадин Г.С. Исследование колееобразования и тягово-сцепных свойств движителей колесных лесных машин при работе на заснеженных лесосеках.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / СПбГЛТУ им. С.М. Кирова. Санкт-Петербург, 2020 – 115 с.
2. Тарадин Г.С. Расчет коэффициента динамичности воздействия движителя лесной машины на снег. / Г.С. Тарадин, Е.В. Котенев // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. отв. ред. В.А. Соколова. - 2019. С. 78-84.
3. Хитров Е.Г., Тарадин Г.С., Андронов А.В., Котенев Е.В., Пушков Ю.Л. Теоретическое исследование глубины колеи и уплотнения снега под воздействием движителя лесной машины. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. № 227. С. 236-248.
4. Хитров Е.Г., Андронов А.В., Тарадин Г.С., Котенев Е.В. Расчет тягово-сцепных свойств движителя лесной машины при работе на заснеженной опорной поверхности. Resources and Technology. 2019. Т. 16. № 2. С. 36-58.

Сведения об авторах

ФИО	Тарадин Григорий Сергеевич
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	Михайлов Олег Андреевич
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	Давидов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3746-7770
e-mail	Andrevv97@gmail.com

Аннотация

В работе приводятся результаты реализации математических моделей колесного движителя на заснеженной лесосеке. Расчеты выполнены для колесного форвардера 8x8 без съемных средств повышения проходимости и для форвардера, оснащенного моногусеницами. Результаты исследований могут быть использованы при создании новых и модернизации существующих колесных лесосечных машин.

Ключевые слова: математическая модель, колесный движитель, форвардер 8x8, проходимость, моногусеница.

УДК 630*3

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.19

Теоретические основы сжатия снега под воздействием колесного движителя

Тарадин Г.С., Михайлов О.А., Давидов А.В.

Введение

До настоящего времени взаимодействие движителей машин с опорными поверхностями рассматривалось преимущественно при постоянных значениях механических свойств грунтов. Моделирование взаимодействия движителей лесозаготовительных машин с заснеженными поверхностями имеет важную особенность – под воздействием движителей снег уплотняется, при этом существенно изменяются его физико-механические свойства, причем это изменение происходит непосредственно в процессе образования колеи. В процессе колееобразования изменяется его модуль деформации, то есть массив упрочняется [1]

Цель работы – определение корректной математической модели взаимодействия колесного движителя со снежным покровом на лесосеке.

Методы исследования: методы теории движения колесных лесосечных машин по заснеженной лесосеке, математический анализ.

Результаты исследования

Рассмотрим вначале одноосное сжатие упрочняющейся среды под воздействием нормального напряжения σ . В геометрической интерпретации диаграммы «напряжение-сжатие» модуль деформации представляет собой тангенс угла наклона касательной к графику напряжения σ от деформации ε [2]. При криволинейном графике $\sigma(\varepsilon)$ определим «мгновенный» модуль E так:

$$E = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (1)$$

где σ – нормальное напряжение, ε – относительная деформация.

Относительная деформация ε связана с плотностью среды ρ формулой:

$$\rho = \frac{\rho_0}{1 - \varepsilon} \quad (2)$$

где ρ_0 – начальная плотность среды до воздействия напряжения σ .

Тогда перепишем уравнение $E = a_{E\rho} \rho^{b_E}$ следующим образом:

$$E = a_{E\rho} \left(\frac{\rho_0}{1 - \varepsilon} \right)^{b_E} \quad (3)$$

Выразив модуль деформации E из уравнения (1), с учетом формулы (3) получим:

$$E_0 \left(\frac{1}{1 - \varepsilon} \right)^{b_E} = \frac{d\sigma}{d\varepsilon} \quad (4)$$

где E_0 – модуль деформации снега по формуле (3) при $\rho = \rho_0$, то есть до воздействия движителя.

Перепишем уравнение (4):

$$\frac{d\varepsilon}{d\sigma} = \frac{(1 - \varepsilon)^{b_E}}{E_0} \quad (5)$$

Решение дифференциального уравнения (5) при начальном условии $\varepsilon(0) = 0$ следующее:

$$\varepsilon = 1 - \left(\frac{E_0}{\sigma(b_E - 1) + E_0} \right)^{\frac{1}{b_E - 1}} \quad (6)$$

Пример результатов расчетов по формуле (6) представлен на рисунке 1, там же приведен график относительной деформации ε при постоянном значении модуля деформации $E = \text{const}$. Расчет выполнен для уплотнения рыхлого снега с начальной плотностью $\rho_0 = 0,1 \text{ г/см}^3$.

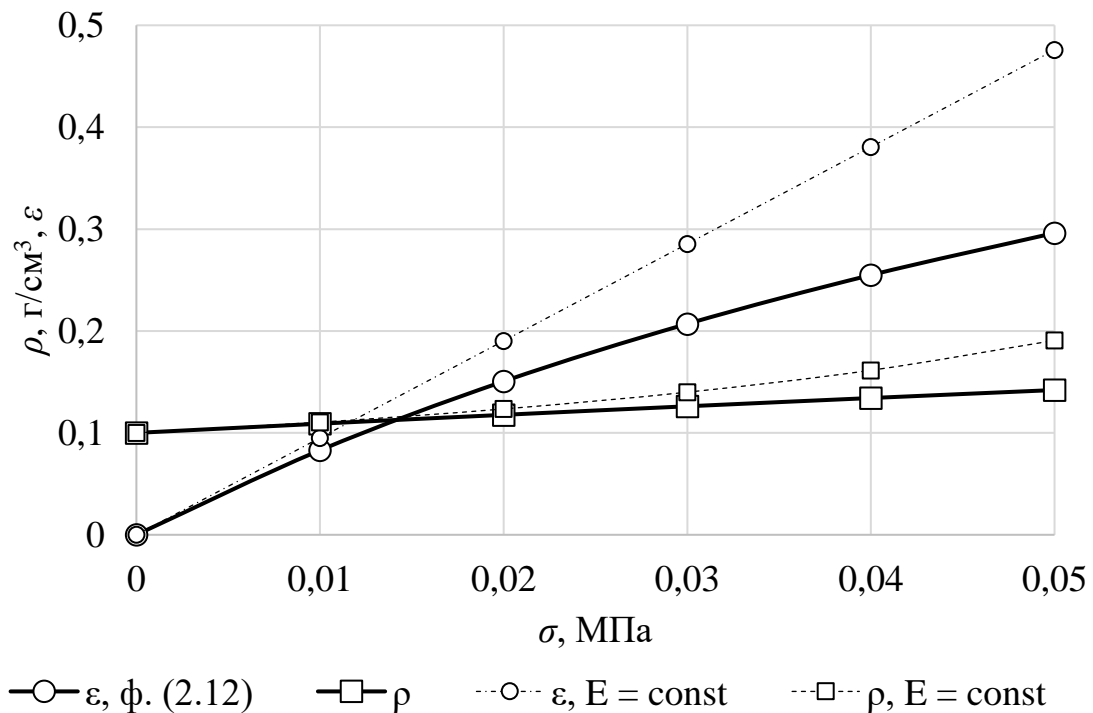


Рисунок 1. Результаты расчета относительной деформации и плотности снега при переменном и постоянном модуле деформации

Как видим, значения плотности снега под воздействием движителя и относительной деформации массива, полученные с использованием уравнения (6) ниже, чем аналогичные значения, полученные при расчете с использованием постоянного значения модуля деформации. Различия в рассмотренном примере составляют до 40 %.

Далее перейдем от одноосного сжатия среды к решению задачи о вдавливании штампа-двигителя в деформируемое полупространство. Для этого определим деформацию опорной поверхности под воздействием движителя с учетом затухания напряжения по глубине снежного массива. Обратимся к схеме, представленной на рисунке 2.

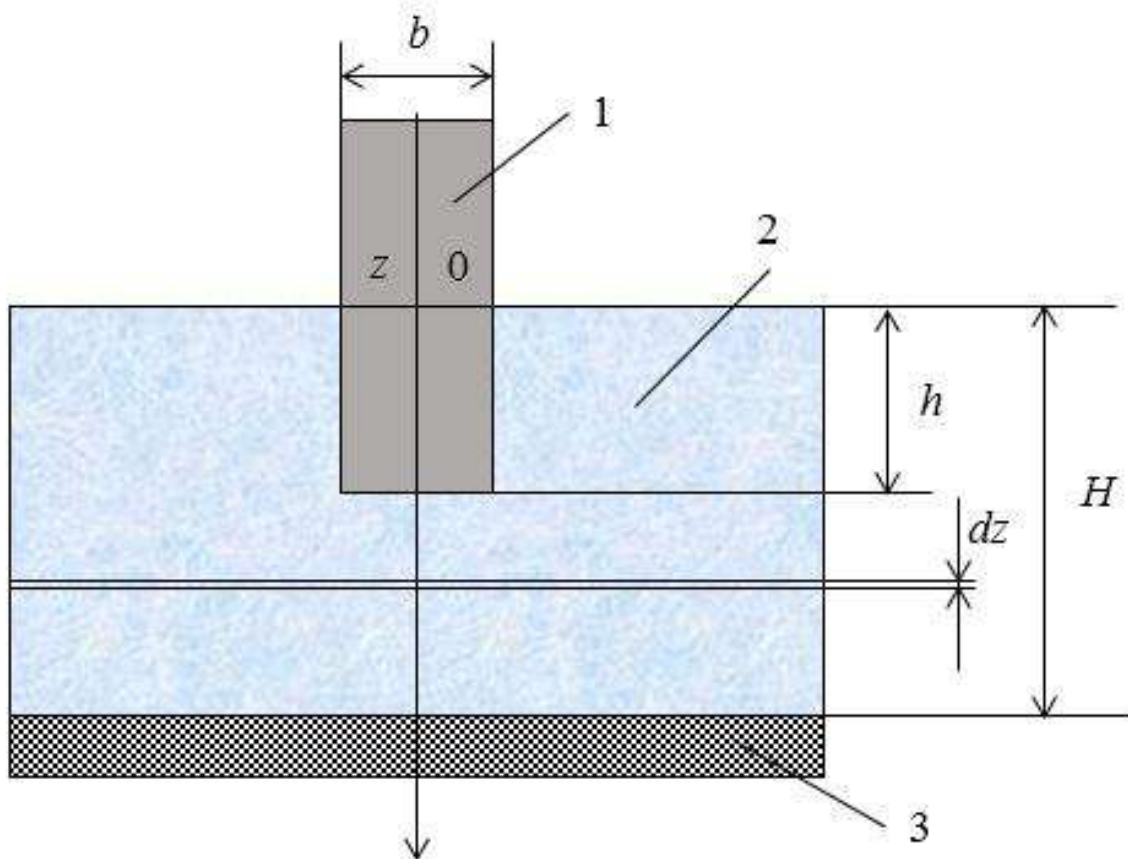


Рисунок 2. Схема к расчету деформации снежного массива под воздействием движителя:

1 – движитель, 2 – массив снега, 3 – жесткое основание (мерзлый грунт)

Сжатие элементарного слоя снежного массива определим по уравнению [2], [3]:

$$dh = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon} dz \quad (7)$$

где z – вертикальная координата, отсчитываемая вниз от поверхности пятна контакта движителя с опорной поверхностью.

При этом деформация сжатия всего снежного массива находится как интеграл относительных деформаций сжатия элементарных его слоев [2], [3]:

$$h = \int_0^{H-h} \frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} dz \quad (8)$$

Используем уравнение для напряжения σ , возникающего под воздействием движителя и распространяющегося по глубине массива, полученное на базе решения задачи Буссинеска [2], [3]:

$$\sigma = \frac{Jp}{1 + \left(\frac{z}{aB}\right)^2} \quad (9)$$

где J – коэффициент учета геометрических параметров пятна контакта движителя с опорной поверхностью, p – давление движителя по поверхности пятна контакта, a – коэффициент учета толщины деформируемого массива (в нашем случае – высоты снежного покрова), B – ширина пятна контакта движителя с опорной поверхностью.

Параметр a рассчитывается по формуле [2], [3]:

$$a = 0,64 \frac{B + H}{H} \quad (10)$$

Параметр J найдем по формуле [2], [3]:

$$J = \frac{0,03B + L}{0,6B + 0,43L} \quad (11)$$

где L – длина пятна контакта движителя с опорной поверхностью.

Непосредственная попытка взятия определенного интеграла по (8) с учетом (6), (9) приводит к сложностям математического характера. Для облегчения решения и упрощения последующих выкладок представим подынтегральную функцию в уравнении (8) в виде полинома Тейлора:

$$\frac{\varepsilon}{1-\varepsilon} = \left(\frac{(b_E - 1)\sigma + E_0}{E_0} \right)^{\frac{1}{b_E - 1}} - 1 = f \approx \sum_{n=1}^k \frac{f^n}{n!} \sigma^n \approx \sum_{n=1}^k \zeta_n \sigma^n \quad (12)$$

где f^n – производная функции f порядка n по σ в точке 0, коэффициенты ζ_n при σ^n :

$$\begin{aligned} \zeta_1 &= \frac{1}{E_0} \\ \zeta_2 &= -\frac{b_E - 2}{2E_0^2} \\ \zeta_3 &= \frac{2b_E^2 - 7b_E + 6}{3E_0^3} \\ \zeta_4 &= -\frac{6b_E^3 - 29b_E^2 + 46b_E - 24}{4E_0^4} \\ &\dots \end{aligned} \quad (13)$$

Коэффициенты ζ_n не зависят от z , тогда запишем уравнение (8) следующим образом:

$$h \approx \sum_{n=1}^k \zeta_n \int_0^{H-h} \sigma^n dz \quad (14)$$

Воспользуемся известной формулой из справочного материала для взятия неопределенного интеграла рациональной дроби:

$$\int \frac{1}{(1+x^2)^n} dx = \frac{x}{2n-1} \sum_{j=1}^{n-1} \frac{(2n-1)(2n-3)(2n-5)\dots(2n-2j+1)}{2^j (n-1)(n-2)\dots(n-j)(1+x^2)^{n-j}} + \frac{(2n-3)!!}{2^{n-1}(n-1)!} \operatorname{arctg} x$$

Тогда определенные интегралы от степеней n напряжения σ по формуле (9):

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= JpaB \operatorname{arctg} \left(\frac{H-h}{aB} \right) \\ \lambda_2 &= \frac{J^2 p^2 a^2 B^2 (H-h)}{2(a^2 B^2 + (H-h)^2)} + \frac{J^2 p^2 aB}{2} \operatorname{arctg} \left(\frac{H-h}{aB} \right) \\ \lambda_3 &= \frac{J^3 p^3 a^4 B^4 (H-h)}{4(a^2 B^2 + (H-h)^2)^2} + \frac{3J^3 p^3 a^2 B^2 (H-h)}{8(a^2 B^2 + (H-h)^2)} + \frac{3J^3 p^3 aB}{8} \operatorname{arctg} \left(\frac{H-h}{aB} \right) \\ \lambda_4 &= \frac{J^4 p^4 a^6 B^6 (H-h)}{6(a^2 B^2 + (H-h)^2)^3} + \frac{5J^4 p^4 a^4 B^4 (H-h)}{24(a^2 B^2 + (H-h)^2)^2} + \frac{5J^4 p^4 a^2 B^2 (H-h)}{16(a^2 B^2 + (H-h)^2)} + \frac{5J^4 p^4 aB}{16} \operatorname{arctg} \left(\frac{H-h}{aB} \right) \\ &\dots \end{aligned} \quad (15)$$

Представим уравнение для определения сжатия массива:

$$h \approx \sum_{n=1}^k \zeta_n \lambda_n \quad (16)$$

Расчеты при варьировании $B = 0,4 \dots 0,8$ м, $L = 0,8 \dots 2,1$ м, $H = 0,2 - 1$ м, $h = 0 \dots H$, E и b_E по данным [1] показывают, что в уравнении (15) можно ограничиться $k = 2$ практически без потери точности, тогда:

$$\begin{aligned} h &= \zeta_1 \lambda_1 + \zeta_2 \lambda_2 = \\ &= \frac{JpaB}{E_0} \operatorname{arctg} \left(\frac{H-h}{aB} \right) + \frac{J^2 p^2 aB}{4E_0^2} \left(\frac{aB(H-h)}{a^2 B^2 + (H-h)^2} + \operatorname{arctg} \left(\frac{H-h}{aB} \right) \right) \end{aligned} \quad (17)$$

Более того, в тех же диапазонах варьирования:

$$\frac{aB(H-h)}{a^2 B^2 + (H-h)^2} \approx \frac{aB}{H} \operatorname{arctg} \left(\frac{H-h}{aB} \right) \quad (18)$$

$$\operatorname{arctg} \left(\frac{H-h}{aB} \right) \approx \frac{3}{4} \left(\frac{H-h}{aB} \right) \quad (19)$$

С учетом (18) получим из (17) с учетом (13), (15) получим:

$$h = \frac{3}{4} \frac{Jp}{E_0} (H-h) - \frac{3}{16} \frac{J^2 p^2 (b_E - 2)(aB + H)}{E_0^2 H} (H-h) \quad (20)$$

или иначе:

$$\frac{h}{H-h} = \frac{3}{4} \frac{J}{E_0} \left(1 - \frac{Jp(b_E - 2)(aB + H)}{4E_0 H} \right) p \quad (21)$$

$$h = \frac{(1 - \chi p)pC}{1 + (1 - \chi p)pC} H \quad (22)$$

где C – жесткость массива с учетом геометрии пятна контакта, ξ – безразмерная функция, отражающая снижение деформации сжатия за счет упрочнения массива при уплотнении, χ – коэффициент упрочнения:

$$C = \frac{3}{4} \frac{J}{E_0} \quad (23)$$

$$\chi = \frac{1}{4} \frac{J}{E_0} \frac{(aB + H)}{H} (b_E - 2) \quad (24)$$

Заключение

Полученное уравнение (24) позволяет определить сжатие деформируемого снежного массива под воздействием колесного движителя лесосечных машин. Следует, однако, отметить, что общая деформация массива состоит не только из сжатия, но и из сдвига слоев снега, что будет учтено в следующих работах.

Библиографический список

1. Тарадин Г.С. Исследование колееобразования и тягово-сцепных свойств движителей колесных лесных машин при работе на заснеженных лесосеках.: Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / СПбГЛТУ им. С.М. Кирова. Санкт-Петербург, 2020 – 115 с.
2. Агейкин Я.С. Проходимость автомобилей. М.: Машиностроение, 1981. – 232 с.
3. Ларин В.В. Методы прогнозирования и повышения опорной проходимости многоосных колесных машин на местности.: Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук / Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана. Москва, 2007.

Сведения об авторах

ФИО	Тарадин Григорий Сергеевич
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	Михайлов Олег Андреевич
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 Давидов А.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3746-7770
e-mail Andrevv97@gmail.com

Аннотация

В статье приводятся теоретические основы сжатия снега под воздействием колесного движителя. В результате исследований получена корректорная математическая модель взаимодействия колесного движителя со снежным покровом на лесосеке. Уравнение позволяет определить сжатие деформируемого снежного массива под воздействием колесного движителя.

Ключевые слова: колесный движитель, трелевочный трактор, лесосека, снежный массив, математическая модель.

УДК 630*3

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.19

Перспективы и возможности эксплуатации валочно-пакетирующих машин на крутых склонах

Зверев И.А., Михайлов О.А., Захаров В.А.

Введение

Уровень механизации заготовки древесины на крутых склонах остается одним из самых низких в лесной отрасли. Наиболее распространенным способом в таких природно-производственных условиях по-прежнему остается ручная валка бензодвигательными пилами и последующая трелевка с использованием канатной установки или трелевочных тракторов, оснащенных тросо-чокерным технологическим оборудованием. Это прежде всего связано с непригодностью большинства лесосечных машин к работе на склонах крутизной свыше 22°. При этом стоит отметить, что порядка 30% запаса лесного фонда России сосредоточено на горных склонах Дальнего Востока крутизной 21...30° [1], [2].

Таким образом, исследование вопроса повышения уровня механизации лесосечных работ на крутых склонах в России за счет модернизации конструкций лесозаготовительной техники является весьма актуальной задачей.

Цель работы – оценить возможность и перспективность использования гусеничных валочно-пакетирующих машин, оснащенных лебедкой, для работы на крутых склонах.

Методы исследования: критический анализ и математическое моделирование.

Результаты исследования.

Одним из способов повышения уровня механизации лесосечных работ на крутых склонах является модернизация конструкций существующих лесных машин, активно используемых при лесозаготовке на равнинной местности. Так в конструкции некоторых моделей гусеничных валочно-пакетирующих машин (ВПМ) для повышения устойчивости при работе на склонах применяются системы выравнивания платформы.

Исследования эффективности использования систем выравнивания показали целесообразность их применения, так как они позволяют повысить предельный угол уклона местности примерно на 50-60%, за счет смещения центра масс машины ближе к склону [3], [4]. Однако применение ВПМ, оснащенных системой выравнивания платформы, ограничено углом уклона местности в 22-26°, что не позволяет эксплуатировать их на более крутых склонах [3].

Дальнейшее повышение устойчивости гусеничных ВПМ при работе на крутых склонах может быть достигнуто за счет использования в конструкции базовой машины лебедки с гидравлическим приводом. Помимо увеличения сопротивления машины против опрокидывания, использование лебедки также повышает и силу тяги машины за счет добавочной силы натяжения троса, что позволяет не опасаться ограничения предельного угла из-за недостаточного сцепления движителя с почвой или недостаточной мощности двигателя.

Наиболее распространенным вариантом является монтаж лебедки на шасси базовой машины [5]. В этом случае конец троса лебедки закрепляется на объектах, расположенных на вершине склона (пни, растущие деревья, валуны и т.п.). Вторым вариантом предполагает установку лебедки на вспомогательную машину, например бульдозер. В этом случае конец троса крепится к ВПМ, а привод барабана лебедки осуществляет вспомогательная машина. Вторым вариантом чаще всего используется в тех случаях, когда по лесоводственным требованиям запрещено закреплять трос на растущем дереве.

Для того, чтобы произвести оценку эффективности использования лебедки на изменение предельного угла уклона местности, а также для ее последующего проектирования, нужно определить силу натяжения троса лебедки, требуемую для удержания ВПМ на склоне. На рис. 1 представлена расчетная схема по определению силы натяжения троса лебедки при движении ВПМ вверх по

склону. Уравнение моментов относительно точки опрокидывания машины будет иметь вид:

$$Th_T - G_M h_M \sin \alpha + G_M l_M \cos \alpha + P_0(r_{3B} - r_K) \cos \beta - P_0 l_{3B} \sin \beta - P_0 r_{3B} + G_D l_c \cos \alpha - G_D h_c \sin \alpha - F_B h_D \cos \alpha + F_B l_D \sin \alpha = 0 \quad (1)$$

Подставив в выражение (1) значения силы тяги машины P_0 и силы ветровой нагрузки F_B по известным выражениям [3], [6], можно выразить искомую силу натяжения троса лебедки:

$$T = (G_M \cdot (h_M \tan \alpha + l_M) + 0,5c_x \rho v^2 S_{кр} \cdot (h_D + l_D \tan \alpha) - G_D \cdot (l_c - h_c \tan \alpha) - (G_M + G_D) \cdot [(f + \tan \alpha) \cdot ((r_{3B} - r_K) \cos \beta - l_{3B} \sin \beta - r_{3B})]) \cos \alpha, \text{ кН} \quad (2)$$

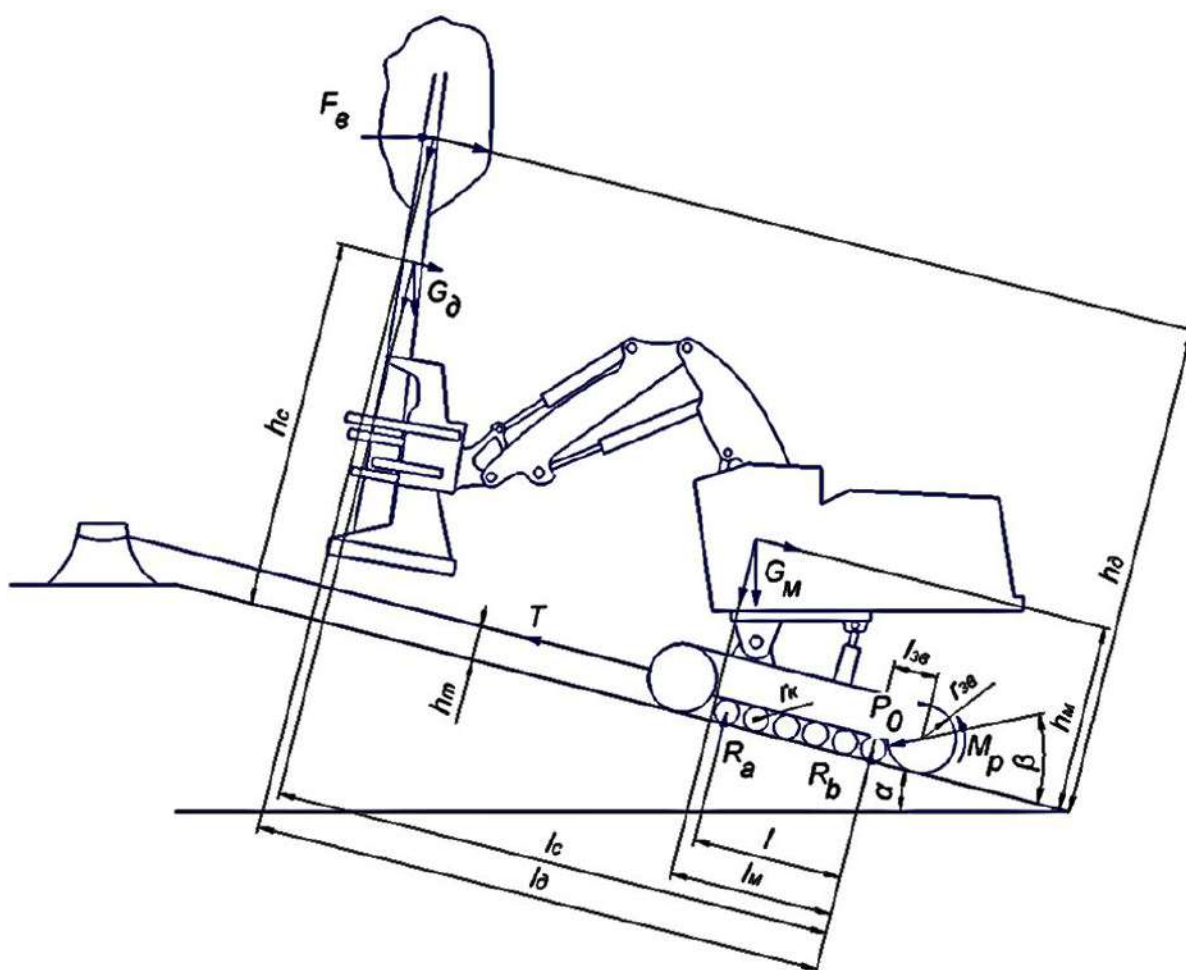


Рисунок 1. Расчетная схема по определению силы натяжения троса лебедки
Заключение.

Повышение уровня механизации лесозаготовительных работ на крутых склонах возможно за счет модернизации конструкций лесосечных машин. В частности, совместное использование в конструкциях гусеничных ВПМ систем выравнивания платформы и лебедок позволяет эксплуатировать данный вид техники на склонах с углом уклона порядка 30-40°.

Полученное математическое выражение по определению силы натяжения троса может быть использовано как при проектировании новых лебедок, так и при выборе для агрегатирования с машиной уже существующих моделей в зависимости от угла уклона местности.

Библиографический список

1. А.Б. Жирнов, А.В. Баранов, Н.А. Костенко. Технология заготовки древесины в горных лесах Дальнего Востока//ИВУЗ «Лесной журнал». 2014. №1. С. 88-92.
2. Ковалев А.П. Лесоводственная оценка лесозаготовок с применением агрегатных машин в горных лесах Сихоте-Алиня: автореф. дис. ... канд. с-х. наук. Уссурийск, 2006. 23 с.
3. Guidelines for difficult terrain ground based harvesting operations in South Africa / Andrew McEwan, Michal Brink and Salmon van Zyl / ICFR Bulletin 02-2013
4. Alexandr, A. Analysis of platform leveling systems for tracked feller-buncher machines / A. Alexandr, Z. Igor, B. Ivan // Inventions. – 2021. – Vol. 6. – No 4. – DOI 10.3390/inventions6040096.
5. Expanding Ground-based Harvesting onto Steep Terrain: A Review / Rien Visser, Karl Stampfer / Croat. J. foreng. 36(2015)2
6. Андронов, А. В. Оценка устойчивости колесных узкозахватных валочно- пакетирующих машин фронтального типа / А. В. Андронов, И. А. Зверев, М. С. Тюрина // Машиностроение: новые концепции и технологии: Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 22 октября 2021 года. – Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2021. – С. 17-21.

Сведения об авторах

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	1126-2121
e-mail	igorzv1997@gmail.com
ФИО	Михайлов Олег Андреевич
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	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	—
e-mail	vovaz19982@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрен способ повышения уровня механизации заготовки древесины на крутых склонах за счет введения в конструкцию гусеничной валочно-пакетирующей машины лебедки. Получена математическая модель по определению силы натяжения троса лебедки при движении валочно-пакетирующей машины вверх по склону.

Ключевые слова: валочно-пакетирующая машина, лесозаготовка на крутых склонах, лебедка, предельный угол уклона местности, трос; feller buncher machine, logging on steep slopes, winch, slope limit, cable.

УДК 630*36

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.21

Основные факторы, влияющие на расход топлива при эксплуатации машин в условиях лесозаготовок

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Сапаров А.В.

Введение

Топливная экономичность лесозаготовительной техники характеризуется расходом топлива в единицу времени на единицу мощности двигателя или на единицу выполненной работы.

Методика исследования

Наиболее оправданным в системе диагностики является применение безразборных методов при оценке технического состояния машин [7], [10], [14], [17]. Многие работы в этом направлении доказали эффективность использования переходных режимов. Отмечается, что внедрение безразборных методов диагностирования позволяет в 2 и более раз уменьшить число отказов, увеличить в 2 раза межремонтный технический ресурс, снизить на 40% затраты на ТО, на 20 - 25 % снизить расход топлива и на 16 - 26 % повысить долговечность деталей [6], [9], [12], [15].

Неудовлетворительная работа топливной аппаратуры повышает риск на 20-40 % отказов дизельных двигателей [2], [4], [11]. По данным ряда исследований, каждые дополнительные 3% неравномерности подачи вызывают увеличение расход топлива на 2%. У 10 -20% двигателей наблюдается снижение номинальной частоты вращения коленчатого вала [5], [8], [19].

Расходы на топливо в общих затратах на эксплуатацию автомобилей составляют 18...20%. Для оценки топливной экономичности используют два показателя: величину общего расхода Q в литрах на 100 км пройденного пути S в километрах и величину удельного расхода топлива Q_m на единицу транспортной работы [4], [17].

Удельный расход топлива на 100 км пробега автомобиля выражается формулой [1]:

$$Q = \frac{G_{\text{сум}}}{L_{\text{сум}} \cdot \rho_m} 100 \quad (1)$$

Удельный расход топлива на 100 т·км транспортной работы:

$$Q_m = \frac{G_{\text{сум}}}{L_{\text{сп}} \cdot Q_{\text{мп}} \cdot \rho_m} 10^5 \quad (1)$$

где $G_{\text{сум}}$ – количество топлива, израсходованного автомобилем за определенный пробег, кг; $L_{\text{сум}}$ – общий пробег автомобиля (с грузом и без груза), км; $L_{\text{гр}}$ – пробег автомобиля с грузом, км; $G_{\text{гр}}$ – полезный груз, перевозимый автомобилем, кг; ρ_m – плотность топлива, г/см³.

Удельный расход топлива на 100 км пробега при движении автомобиля связан с удельным расходом топлива двигателем g_e соотношением:

$$Q = \frac{G_m}{V_a \cdot \rho_m} 100 = \frac{g_e \cdot N_e}{V_a \cdot \rho_m} 0,1 \quad (3)$$

где N_e – эффективная мощность двигателя; V_a – скорость движения автомобиля.

Зависимость удельного расхода топлива от скорости при установившемся движении по дороге с определенным сопротивлением называют экономической характеристикой автомобиля [1], [7], [17].

Расход топлива при движении автомобиля, с какой-либо скоростью, зависит от суммарного сопротивления движению и от экономичности работы двигателя при движении с этой скоростью [6], [12]. При малой скорости движения мощность, необходимая для преодоления сопротивлений движению, невелика. Общее количество топлива, потребляемого двигателем, относительно невелико [11]. При повышении скорости движения (на той же передаче) мощность, затрачиваемая на преодоление сопротивления, увеличивается. Соответственно, возрастает и расход топлива [6], [7].

Расход топлива на пробег используют довольно часто из-за простоты определения, но он характеризует топливную экономичность с точки зрения совершенства конструкции автомобиля [8], [14]. Автомобили, имеющие лучшие показатели по расходу топлива на пробег, уступают другим автомобилям по удельному расходу топлива на единицу транспортной работы [9], [12].

Из общего количества энергии, выделяющейся от сгорания топлива, только около 25% используется полезно, преобразуется в тяговое усилие ведущих колес, остальная энергия безвозвратно теряется. Таким образом, из 100 л топлива, поступающего в камеру сгорания, только около 25 л преобразуется в полезную работу. Остальная часть топлива теряется в виде тепловых и механических потерь [4], [13].

О совершенстве рабочего процесса в двигателе можно судить по удельному расходу топлива:

$$g_e = 1000 \frac{G_m}{N_e} \quad (4)$$

Одним из основных факторов, указывающих влияние на расход топлива при эксплуатации машин, является техническое состояние машин [2]. Так, неисправность или неправильная регулировка одной форсунки дизельного двигателя увеличивает расход топлива на 15...20% [3]. Понижение температуры охлаждающей жидкости на 30...40°C приводит к возрастанию расхода топлива на 5...10% из-за ухудшения процесса сгорания [16]. При отклонении угла начала подачи топлива на 3...5° удельный расход возрастает на 4...8%.

Результаты исследования

Результаты работы по определению стабильности топливно-мощностных показателей двигателей в условиях реальной эксплуатации, показывают, что большинство двигателей работают с пониженной мощностью и повышенным расходом топлива [18]. Мощность двигателей снижается на 5...15%. Неудовлетворительная работа топливной аппаратуры чаще всего приводит к ухудшению экономичности двигателя [15].

Примерно через 300 часов работы у новых форсунок из-за приработки торцевых сопряжений и ослабления крепления распылителя к корпусу уменьшается давление впрыска на 2,5...4 МПа, ухудшается распыл топлива [20]. При эксплуатации более 700...800 часов конец иглы распылителя покрывается лаковыми отложениями, изнашивается нагнетательный клапан, происходит утечка топлива через зазор между отверстиями корпуса и иглы, что вызывает закоксовывание внутренних и наружных поверхностей распылителя и как следствие – снижение мощности и увеличение расхода топлива [16].

Для уменьшения вредного влияния указанных причин необходимо через 120 часов работы проверять установку угла опережения подачи топлива насосом, настраивать частоту вращения вала двигателя на максимальные обороты холостого хода через каждые 480 мото-ч работы при помощи диагностических средств или на стенде контролировать работу и при необходимости регулировать форсунки. Заменять масло в регуляторе частоты вращения следует одновременно с заменой масла в двигателе [15].

Топливная экономичность двигателей во многом зависит от правильности установки распылителей форсунок. Размещение и число отверстий распылителя при заданном положении форсунки выбирают так, чтобы при высокой топливной экономичности двигателя его механическая и тепловая напряженность были умеренными [19]. Поэтому, прежде чем ставить форсунку на двигатель, необходимо проверить обозначение распылителя. При наличии

упакованных распылителей достаточно посмотреть надпись на упаковке или непосредственно маркировку на распылителе [7], [18]. Следует помнить, что дополнительно регламентируется пропускная способность каждого распылителя и на двигатель следует устанавливать их только одной группы пропускной способности (обычно на распылитель наносится только 2-ая группа). Каждый тип распылителя предназначен для двигателя в зависимости от способа смесеобразования и формы камеры сгорания. При перестановке различных по типу распылителей будут снижаться надежность и технико-экономические показатели двигателей [19].

Заключение

В последнее время в практике автомобилестроения проведены большие работы по совершенствованию двигателей, улучшению качества топлива, повышению топливной экономичности. Но в процессе эксплуатации пути экономии топлива необходимо искать в выборе соответствующих режимов работы и поддержания автомобиля в технически исправном состоянии.

Библиографический список

1. *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.
2. *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.
3. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Рачков И.Д.* Основные направления синтеза оптимальных трелевочных систем // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 651-656.
4. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М.* Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе // 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., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В.* Основные показатели технического уровня лесных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 662-667
6. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С.* Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 639-646.
7. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А.* Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 712-718.
8. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.; Чураков А.В., Охалкин Т.А.* Особенности процесса наплавки металлоизделий в пропан-бутане и его влияние на технологическую производительность // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических

- машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 646-651.
9. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Парфенопуло Г.К., Лазуткина А.А.* Особенности производственно-технической инфраструктуры предприятий технического сервиса в лесного комплекса // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 672-678.
 10. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Тороцин П.С.* Стендовые испытания тормозной системы автомобиля с пневматическим приводом // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 678-684.
 11. *Мартынов Б.Г., Козьмин С.Ф., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В.* Техническая эксплуатация лесозаготовительных машин: учебное пособие для самостоятельной работы студентов всех форм обучения направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и комплексы» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 116 с.
 12. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М.* Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения // 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. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниязов А.* Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
 14. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Мубаракишина Т.М.* Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 153-158
 15. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Тороцин П.С.* Создание математических моделей колесных лесопромышленных тракторов с учетом системного подхода // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 158-165.
 16. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Тороцин П.С., Давыденко С.В.* К оценке мощностного баланса трелевочного трактора с учетом его параметров // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Том 2 / Под ред. А.А. Добровольского. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 103-105.
 17. *Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Давыденко С.В.* Обоснование диагностических параметров тормозной системы автомобиля // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 706-712.
 18. *Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.* Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 633-639.
 19. *Churakov, A.V., Pushkov, Yu.L., A.S. Krivonogova, Sokolova, V.A., Markov, V.A.* Diagnostics of fuel efficiency indicators of internal combustion engines in the logging industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012019.

20. *Pushkov, Yu.L., Churakov, A.V., Sokolova, A.S. Krivonogova, V.A., Parfenopulo, G.K.* Methods of simplification and reduction of the dynamic system «engine-transmission tractor pack of wood» of tracked skidding tractors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012018.

Сведения об авторах

ФИО Кривоногова Александра Станиславовна
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 Юрий Леонидович
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 Сергей Федорович
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 Сапаров 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 saparov.andreyka@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы топливной экономичности лесозаготовительной техники путем оптимизации расхода на топлива при

различных технологических процессах. Анализ расход топлива при движении автомобиля в зависимости от суммарного сопротивления движению и от экономичности работы двигателя. Проведена оценка топливной экономичности.

Ключевые слова: расход топлива, экономичность топлива, качество топлива, затраты, диагностика.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15, 66.17.99

Выбор параметров многооперационных лесозаготовительных машин с учетом экологических требований

**Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.,
Спиридонов С.В., Москвина З.А., Михайлов О.А.**

Введение

Одной из причин усиленного повреждения почвенного покрова в процессе лесозаготовок является неправильный подбор импортных лесозаготовительных машин типа форвардер или харвестер в условиях лесозаготовок по их массе, габаритам и технической оснастке [4], [7],[9],[13],[14].

Методы исследования

В Германии проведены исследования параметров машин с точки зрения их соответствия требованиям сохранения почвенного покрова, которые могут прослужить руководством для лесозаготовительных предприятий при выборе техники для эксплуатации и для заводов-изготовителей при ее разработке и совершенствовании [1], [3], [8]. Лесозаготовительные машины по величине массы подразделяются на три категории (табл. 1).

Таблица 1. Категории лесозаготовительных машин по величине масс

Наименование лесозаготовительной машины	Категории по массе, т		
	I	II	III
Сортиментовозы (форвардеры) и тракторы с зажимным коником	7,0	7,0-13	—
Многооперационные машины (харвестеры и процессоры)	7,5	7,5-14	—

Минимальный радиус действия манипуляторов сортиментовозов, тракторов с зажимным коником и многооперационных машин категории I принимается равным 7,5 м, категории II – 9 м. При меньшем радиусе действия манипулятора машины вынуждены совершать больше перемещений [2], [5], [10], [12], а при изреживании древостоев они требуют наличия более плотной сети трелевочных волоков (с расстоянием между волоками менее 25 м), что ведет к увеличению площадей, на которых повреждается почва [11]. Манипуляторами с меньшим

вылетом для большей устойчивости могут оснащаться многооперационные лесозаготовительные машины со специальной ходовой частью, которая обеспечивает низкое удельное давление на грунт [6].

В качестве основных по экологическим требованиям рассматриваются следующие параметры:

- масса машины, ширина шин, удельное давление на грунт;
- особенности компоновки (трансмиссия, буксование, диаметр шин и распределение масс).

Результаты исследования

Для указанных групп лесозаготовительных машин с одинаковой массой определяются максимальные габаритные размеры [12]; минимальный дорожный просвет и ширина шин (табл. 2). При определении максимальных габаритных размеров исходят из того, что маневренность машин в условиях бездорожья сохраняется [5].

От ширины шин зависит величина удельного давления на грунт и ширина машины [8]. Данные отнесены к массе трелеваемого груза, подвешенного на трелевочном канате и воздействующего на канатоведущий блок, для категорий тракторов I – 2 т, II – 3 т, III – 4 т.

Таблица 2. Максимальные габаритные размеры лесозаготовительных машин

Лесозаготовительные машины	Категория по массе	Максимальные размеры, мм			Минимальные размеры, мм	
		Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Дорожный просвет, мм	Ширина шин, мм
Сортиментовозы и тракторы с зажимным коником	I	7000	2250	3300	500	500
	II	9000	2500	3400	600	600
Многооперационные заготовительные машины	I	7000	2250	3300	400	500
	II	8500	2500	3400	600	600

Значения удельного давления на грунт указаны в табл. 3 для случая использования широкопрофильных шин [6]. Даже при полной нагрузке статическое давление на заднюю ось втрое ниже, чем у тракторов для трелевки долготья, благодаря чему вероятность необратимых повреждений почвы у этих машин уменьшается.

Заключение

Для соблюдения экологических норм и стандартов лесозаготовительные техникой применительно к российским климатическим и дорожным условиям необходимо учитывать ее весовые параметры типы трансмиссии, двигателей, качество ТСМ и рабочих жидкостей гидросистем.

Таблица 3. Максимально допустимые значения удельного давления на грунт лесозаготовительных машин с широкопрофильными шинами

Лесозаготовительные машины	Удельное давление на грунт, кПа			
	Колес передней		Колес задней	
	Без груза	С грузом	Без груза	С грузом
Сортиментовозы, тракторы с зажимным коником многооперационные машины	45	45	29	79

Библиографический список

1. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Вишнев Д.В.* Перспективные направления развития методов диагностирования систем и механизмов двигателей внутреннего сгорания // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 684-691.
2. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Рачков И.Д.* Основные направления синтеза оптимальных трелевочных систем // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 651-656.
3. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М.* Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе // 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., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Ардентова А.Д.* Анализ взаимодействия лесомелиоративной машины с предметом труда // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 667-672.
5. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В.* Основные показатели технического уровня лесных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 662-667
6. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А.* Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 712-718.
7. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Парфенопуло Г.К., Лазуткина А.А.* Особенности производственно-технической инфраструктуры предприятий технического сервиса в лесного комплекса // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 672-678.
8. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Тороцин П.С.* Стендовые испытания тормозной системы автомобиля с пневматическим приводом // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 678-684.
9. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М.* Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения // 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. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниязов А.* Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы // Научно-техническая конференция по

итогах научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.

11. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Мубаракишина Т.М.* Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 153-158
12. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Торощин П.С.* Создание математических моделей колесных лесопромышленных тракторов с учетом системного подхода // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 158-165.
13. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Торощин П.С., Давыденко С.В.* К оценке мощностного баланса трелевочного трактора с учетом его параметров // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Том 2 / Под ред. А.А. Добровольского. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 103-105.
14. *Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.* Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 633-639

Сведения об авторах

ФИО Пушков Юрий Леонидович
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 Александра Станиславовна
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 Спиридонов Сергей Васильевич
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	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	—
e-mail	zlatenka2001@gmail.com
ФИО	Михайлов Олег Андреевич
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

Аннотация

При проектировании и выборе лесозаготовительной техники необходимо учитывать их конструктивные параметры с учетом экологических требований, особенно при эксплуатации на грунтах с низкой несущей способностью.

Ключевые слова: удельное давление на грунт, экологические нормы и стандарты, многооперационные заготовительные машины, почвенный покров.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15, 66.17.99

Особенности упрощенной динамической системы «двигатель – трансмиссия - трактор-пачка древесины» гусеничных трелевочных тракторов

Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Забродин В.Д.

Введение

Важнейшим условием эффективного функционирования трелевочных тракторов является оснащение их трансмиссией современной конструкции. Конструкция и тип трансмиссии в большей степени определяет тягово-динамические свойства, производительность и долговечность машины, ее эргономические свойства, а также экологическую совместимость движителя с лесной почвой.

Методы исследования

Специфические условия работы лесопромышленных тракторов накладывают особые требования на конструкцию и характеристики их трансмиссии [6], [8], [10], [11], [14], [16]. При совершенствовании конструкции стоит также такой вопрос, как повышение надежности и долговечности элементов трансмиссии. Сложность их и многообразие нагрузок, действующих на детали трансмиссии, а также своеобразие условий эксплуатации тракторов на лесосеке, приводят к частым отказам деталей трансмиссии и большим простоям трактора [12], [13], [15]. Простои трактора в ремонте сказываются на снижении годовой наработки, повышении затрат на техническое обслуживание и ремонт его и как следствие - значительного снижения экономической эффективности трактора. Поэтому повышение надежности и работоспособности гусеничного трелевочного трактора в целом и деталей трансмиссии в частности является актуальной задачей [1], [4], [5], [7], [9].

Методы упрощения и приведения параметров к единой скорости вращения или движения применяются при замене реальной динамической системы эквивалентной расчетной схемой [1], [2], [16]. Такие эквивалентные схемы служат основой для разработки и исследования математических моделей с целью измерения динамических свойств системы и совершенствования ее потенциальных свойств.

Результаты исследования

Для любого момента времени можно записать уравнение динамического равновесия системы «деталь – проволока» [16]. При закручивании детали на угол φ в материале проволоки возникают напряжения, которые относительно оси создадут момент силы [3], [4], [13]:

$$M = \frac{GJ_p}{l} \varphi \quad (1)$$

где G – модуль упругости проволоки при сдвиге; J_p – полярный момент инерции площади поперечного сечения; L – длина проволоки, подверженная деформации кручения; φ – угол закручивания относительно равновесного положения детали [7], [15], [16].

Из выражения (1):

$$M = C\varphi \quad (2)$$

где C – коэффициент крутильной жесткости проволоки, $C = GJ_p/l$.

Для определения момента инерции на одну и ту же проволоку подвешивают эталонную деталь простой геометрической формы [7, 18, 21], чаще диск, момент инерции рассчитывается просто и определяется период колебания, после этого таким же методом определяется период колебания испытуемой детали (узла) [5],

[20]. Решение простейшего линейного однородного дифференциального уравнения позволяет получить формулу перехода [6], [15]:

$$J_g = J_э \frac{T_g^2}{T_э^2} \quad (3)$$

где T_g , $T_э$ - период одного колебания детали и эталона на проволоке соответственно; J_g , $J_э$ - моменты инерции детали и эталона на проволоке, соответственно [19, 23].

Момент инерции эталона с четкими геометрическими размерами:

$$J_э = \frac{G_э r^2}{2g} \quad (4)$$

где $G_э$, – вес эталонной детали; r – радиус цилиндра (диска).

Заключение

В ходовой системе имеются вращающиеся детали с разными осями (ведущее колесо, натяжное колесо, опорный каток и т.д.) [10]. Задача сводится к определению момента инерции узла сложной конфигурации, например натяжного колеса и приведению к оси вращения ведомого вала или ведущего колеса [8]. Для этого рассматривается равенство кинетической энергии натяжного колеса T_k и кинетической энергии натяжного колеса, приведенной к оси ведомого вала бортовой передачи T_k^n :

$$T_k = T_k^n, \quad \frac{J_k \omega_k^2}{2} = \frac{J_k^n \omega_0^2}{2} \quad (5)$$

где J_k – момент инерции натяжного колеса; J_k^n – приведенный момент инерции колеса к оси ведомого вала бортовой передачи; ω_k - частота вращения колеса; ω_0 - частота вращения ведомого вала бортовой передачи или ведущего колеса.

Библиографический список

1. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Рачков И.Д. Основные направления синтеза оптимальных трелевочных систем // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно- исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 651-656.
2. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе // 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., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Ардентова А.Д. Анализ взаимодействия лесомелиоративной машины с предметом труда // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 667-672.
4. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В. Основные показатели технического уровня лесных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно- исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 662-667

5. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С. Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 639-646.
6. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А. Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 712-718.
7. Мартынов Б.Г., Козьмин С.Ф., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В. Техническая эксплуатация лесозаготовительных машин: учебное пособие для самостоятельной работы студентов всех форм обучения направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и комплексы» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021.– 116 с.
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., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Мубаракшина Т.М. Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 153-158
10. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Торошин П.С. Создание математических моделей колесных лесопромышленных тракторов с учетом системного подхода // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 158-165.
11. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Торошин П.С., Давыденко С.В. К оценке мощностного баланса трелевочного трактора с учетом его параметров // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Том 2 / Под ред. А.А. Добровольского. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 103-105.
12. Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Гаипов Д.А. Влияние показателей проходимости на выбор оценочных показателей // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 700-706.
13. Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Романов С.В. Применение двигателей постоянной мощности на трелевочных тракторах и их влияние на тяговые показатели // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 691-700.
14. Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С. Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 633-639.
15. Churakov, A.V., Pushkov, Yu.L., A.S. Krivonogova, Sokolova, V.A., Markov, V.A. Diagnostics of fuel efficiency indicators of internal combustion engines in the logging industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012019.
16. Pushkov, Yu.L., Churakov, A.V., Sokolova, A.S. Krivonogova, V.A., Parfenopulo, G.K. Methods of simplification and reduction of the dynamic system «engine-transmission tractor pack of wood» of tracked skidding tractors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry,

Сведения об авторах

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	Пушков Юрий Леонидович
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 Александра Станиславовна
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	Забродин В.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	vova.zabrodin.01@mail.ru

Аннотация

В статье представлена методика упрощения динамической модели «двигатель – трансмиссия – трактор – пачка древесины» которая дает возможность минимизировать трудозатраты при исследовании резонансных колебаний. Определяется лишь ограниченный спектр собственных частот, включающий лишь те частоты, на которых возможно возникновение резонансных колебаний.

Ключевые слова: динамическая система лесных машин, двигатель, трансмиссия, крутильные колебания, математическая система, резонанс.

Оценка эксплуатационной нагруженности колесных лесопромышленных тракторов

Чураков А.В., Кривоногова А.С. Пушков Ю.Л., Клечков И.С.

Введение

Информацию о надежности тракторов получают двумя способами. Первый – наблюдение за работой машин в реальных условиях эксплуатации – самый достоверный, но и наиболее дорогостоящий, трудоемкий и длительный, так как результаты получают через 3-4 года после начала выпуска машин. Кроме того, показатели надежности в этом случае во многом зависят от культуры эксплуатации машин и соблюдения норм технического обслуживания [3], [6], [8].

Методы исследования

Более достоверные результаты получают при испытаниях тракторов в специализированных организациях. Информация о надежности обеспечивается моделированием эксплуатационных процессов нагружения, а также форсированными испытаниями [1], [5], [10].

Ускоренные испытания проводят на полигоне с искусственным покрытием или естественным фоном совмещением нормальных испытаний с имитацией или увеличением частоты приложения эксплуатационных разрушающих воздействий [2], [4].

При моделировании исходными данными для разработки методик испытаний машин на надежность служат режимы работы трактора в условиях эксплуатации, которые включают в себя характеристики и интенсивность его использования, а также нагруженность элементов при выполнении основных видов работ [7], [11].

Критерий правильности выбора режима нагруженности при испытаниях – совпадение вида и характера основных отказов, износов и неисправностей при испытаниях и эксплуатации.

Характеристики интенсивности использования агрегатов лесопромышленного трактора – совокупность данных об условиях нагружения, частоте и продолжительности их применения в процессе выполнения основных видов работ технологического цикла [11], [12].

При исследовании силового нагружения в реальных условиях трактор рассматривают как динамическую систему с входными и выходными переменными.

К первым относятся микропрофиль полей и дорог, тяговое сопротивление на крюке трактора, силы сопротивления его движению и управляющие воздействия, ко вторым – технологические и энергетические параметры (определяют технико-экономические показатели) и параметры динамического нагружения (режимы работы агрегатов, их работоспособность и долговечность) [5].

Режим работы изделия в эксплуатации, соответствующий заданным типичным условиям его использования, в сочетании с требуемым ресурсом является общей основой всех этапов создания машины – конструирования, расчета, испытания и доводки. Информация, полученная в результате кратковременных испытаний макетных образцов, позволяет обоснованно проводить дальнейшие работы по доводке конструкции машины и назначать режимы испытаний его узлов и деталей [4], [9].

Результаты исследования

Принципиальная схема системы испытаний и доводки конструкции новых и модернизированных моделей тракторов показана на рисунке.



Рисунок. Принципиальная схема системы испытаний

При лабораторно-полевых испытаниях проверяют соответствие техническому заданию опытных тракторов, изготовленных после уточнения отдельных его параметров и доработки конструкции по результатам испытания макетного образца. Испытания проводят в объеме, позволяющем дать всестороннюю оценку всем основным показателям трактора, за исключением выявляемых при длительной его эксплуатации (показателей надежности) [6], [8].

Лабораторно-полевым испытаниям подвергают не менее двух тракторов. Один из них оснащают тензометрическими узлами для исследования нагрузок в

основных элементах. На этой же машине целесообразно проводить исследования плавности хода с одновременными замерами нагруженности деталей несущей и ходовой систем, определение тяговых характеристик с одновременным исследованием потерь в различных элементах трансмиссии и ходовой системы (определение тягового баланса) и выполнять другие работы, связанные с тензометрическими измерениями [3], [7].

На другом тракторе исследуют агрегатируемость, проходимость, управляемость, определяют оптимальные режимы работы машинно-тракторного агрегата, исследуют условия труда оператора и т. д. [2], [6].

Заключение

Даже самая совершенная система доводочных испытаний сложных изделий при ограниченном количестве опытных образцов и времени, отводимого на их испытания, не может обеспечить выявление и устранение всех недостатков создаваемых машин до начала их производства. Доработка конструкции машины, в ходе серийного производства вызванная необходимостью устранения отдельных его недостатков, неизбежна.

Библиографический список

1. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Вишнев Д.В.* Перспективные направления развития методов диагностирования систем и механизмов двигателей внутреннего сгорания // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 684-691.
2. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М.* Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе // 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., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В.* Основные показатели технического уровня лесных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 662-667
4. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С.* Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 639-646.
5. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А.* Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 712-718.
6. *Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.; Чураков А.В., Охалкин Т.А.* Особенности процесса наплавки металлоизделий в пропан-бутане и его влияние на технологическую производительность // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 646-651.
7. *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.*

8. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Мубаракишина Т.М.* Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 153-158
9. *Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Тороцин П.С., Давыденко С.В.* К оценке мощностного баланса трелевочного трактора с учетом его параметров // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Том 2 / Под ред. А.А. Добровольского. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 103-105.
10. *Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.* Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 633-639.
11. *Churakov, A.V., Pushkov, Yu.L., A.S. Krivonogova, Sokolova, V.A., Markov, V.A.* Diagnostics of fuel efficiency indicators of internal combustion engines in the logging industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012019.
12. *Pushkov, Yu.L., Churakov, A.V., Sokolova, A.S. Krivonogova, V.A., Parfenopulo, G.K.* Methods of simplification and reduction of the dynamic system «engine-transmission tractor pack of wood» of tracked skidding tractors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012018

Сведения об авторах

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 Кривоногова Александра Станиславовна
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 Юрий Леонидович
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 Клечков 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 iwankletchkov@gmail.com

Аннотация

В статье дана оценочная характеристика методам проведения испытаний колесных лесопромышленных трактор и проанализированы критерии правильности выбора режима нагруженности элементов узлов и систем при испытаниях.

Ключевые слова: испытания, исследования нагрузок, режим работы изделия в эксплуатации, технико-экономические показатели, моделирование исходных данных.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15, 66.17.99

3. ТЕПЛОТЕХНИКА, ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Современное состояние топливно-энергетического комплекса

Иванов М.М., Иванов Н.М.

Введение

В связи с ростом цен на традиционные энергоносители и повышением себестоимости производимой продукции идет поиск альтернативных источников энергии.

Одним из таких самых эффективных источников является биотоплива (биомасса) [1]. Использование только древесных отходов лесного комплекса при выработке тепловой и электрической энергии как минимум эквивалентно 2,5 млн. тонн условного топлива (т.у.т.). Если же взять в расчет древесно-кустарниковую растительность, свозимую с объектов мелиорации, специально выращиваемую биомассу, отходы, образуемые в коммунальном хозяйстве, при эксплуатации дорог, содержании садово-паркового хозяйства, в различных видах строительства, то эта цифра станет более внушительной [2].

Однако массового применения биотоплива не происходит. Имеет место локальное использование в основном отходов деревообработки. В то же время во многих высокоразвитых странах мира (Дания, США, Швеция, Финляндия, и др.) биотоплива является серьезным подспорьем в большой энергетике. В этих странах создана успешно функционирующая инфраструктура, включающая производство необходимого оборудования и фирмы, которые берут на себя заготовку и доставку биотоплива потребителю, контроль за эксплуатацией энергоустановок и т. д.

Сегодня не представляется возможным широко внедрить опыт зарубежных стран, так как, прежде всего, отсутствует необходимая база, обеспечивающая выгоду от использования отходов в качестве топлива. Не определены места экономически выгодного размещения энергетических установок на биотопливе с обеспечением неистощимой сырьевой топливной базы на долгие годы. Сложившиеся технологии заготовки топлива при проведении рубок ухода и главного пользования в лесном комплексе, расчистки закустаренных земель на объектах мелиорации, а также применяемое при этом оборудование далеки от совершенства. Эти и другие вопросы необходимо решать с учетом ее особенностей и сложившихся условий. Необходима большая работа, направленная на раскрытие преимуществ нетрадиционной энергетики на биотопливе.

Решению изложенной выше проблемы и посвящена данная работа. В ней дается анализ сегодняшнего положения дел с использованием биотоплива, и

предложен комплексный подход к созданию на его основе малой энергетики. Проведенные исследования дают возможность до минимума сократить затраты на получение топлива, его транспортировку и хранение, а предлагаемые энергетические установки позволяют экономично, с высоким КПД, получать энергию из топлива различных фракций. Реализация предложенных разработок в отдельных районах, особенно с высокой лесистостью, позволит сделать биотоплива дешевым и доступным источником энергии, применение которого значительно снизит себестоимость и увеличит конкурентоспособность производимой продукции [3 – 6]. А это в свою очередь обеспечит развитие производства, новые рабочие места, а значит, и преодоление кризисных явлений в экономике.

Топливо-энергетический комплекс (ТЭК) – важнейшая отрасль народного хозяйства. Он включает в себя системы добычи, транспорта, хранения, производства и распределения всех видов энергоносителей: газа, нефти и продуктов ее переработки (бензин, мазут, дизельное топливо и др.), твердых видов топлива. От уровня развития и эффективности функционирования ТЭК в значительной мере зависит экономическое благополучие страны.

В народном хозяйстве используются различные виды топлива, однако основными на сегодняшний день являются уголь, природный газ и мазут, используемые на электростанциях и в котельных для производства электроэнергии и тепла.

Изученные запасы нефти весьма ограничены. Для сохранения существующих объемов добычи и их увеличения необходимы применение высокоэффективных технологий и разработка новых месторождений.

Увеличение производства торфяного топлива возможно за счет добычи более дешевого (примерно в 2 раза), по сравнению с брикетами, кускового торфа. Крупные месторождения торфа уже освоены, поэтому сохранение и увеличение его добычи может быть обеспечено только за счет применения новых ресурсосберегающих технологий использования торфяных залежей.

По своим качественным показателям сланцы не являются эффективным топливом из-за высокой зольности и низкой теплоты сгорания. Они требуют предварительной термической подготовки с выходом жидкого и газообразного топлива. Стоимость полученных энергоносителей при этом достаточно высока и приближается к мировым ценам на нефть.

Аналогична ситуация и с бурыми углями. Имеющиеся бурые угли можно использовать в качестве коммунально-бытового топлива после подсушки и брикетирования в смеси с торфом или для получения генераторного газа. К тому же при работе заводов ежедневно образуется лигнин, большая часть которого вывозится на свалку. До настоящего времени лигнин использовался для

приготовления удобрений или в смеси с торфом для производства топливных брикетов.

После подсушки до влажности 20...30% лигнин становится полноценным топливом с теплотой сгорания, близкой к кусковому торфу. В кускованном виде он может найти применение как бытовое топливо для небольших котлов, использующих предтопки (газогенераторы) [3].

Наиболее крупным потребителем тепла является промышленность. Вторым по величине удельного веса потребителем тепловой энергии является коммунально-бытовой сектор городов и сельской местности. Энергобаланс сельского хозяйства определяется расходом тепла на отопление производственных зданий и жилых помещений, животноводческих ферм, теплиц и построек, необходимых для хранения и сушки продуктов сельскохозяйственного производства.

Заключение.

Основной источник обеспечения теплом в крупных городах и промышленных узлах – централизованное теплоснабжение на базе ТЭЦ и районных котельных. Теплоснабжение в небольших городах и поселках городского типа осуществляется по децентрализованной схеме: от местных котельных и индивидуальных источников тепла. Теплоснабжение многих промышленных предприятий осуществляется от собственных котельных.

На нынешнем этапе рассматриваются предложения по расширению использования в качестве топлива древесных отходов различного вида, кускового торфа, горючих бытовых и производственных отходов.

Библиографический список

1. ГОСТ 54220-2010 Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Ч. 1. Общие требования. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 42 с.
2. 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.
3. Никишов, В.Д. Комплексное использование древесины. / В.Д. Никишов. – Москва: Лес. пром-сть, 1985. – 264 с.
4. Передерий, С. Щепка как твердое биотопливо в Европе. / С. Передерий // ЛесПромИнформ. – 2010. - №5. – с. 132-135.
5. Иванова, И.В. Анализ методов термической переработки биомассы в газогенераторных установках / И.В. Иванова, А.А. Куликов, М.М. Иванов, В.А. Прохоров // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021.– 612 с. – С. 171-179.
6. Васильев, Ю.С. Развитие энергетического сектора и биоэнергетики на Северо-Западе России / Ю.С. Васильев, В.В. Елистратов, Г.И. Сидоренко // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. – 2008. - №1-2. – с.74-86.

Сведения об авторах

ФИО

Иванов Михаил Михайлович

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	Иванов Н.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес организации	190000, Б. Морская, д.67, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	iv-nikola@mail.ru

Аннотация

Проведен анализ работы топливно-энергетического комплекса с перспективным предложением по расширению использования в качестве топлива древесных отходов различного вида, кускового торфа, горючих бытовых и производственных отходов.

Ключевые слова: топливно-энергетический комплекс, древесные отходы, уголь, нефть, природный газ.

УДК 662.6

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.09.37

Актуальные проблемы ресурсосбережения в многоквартирных жилых домах РФ

Снежков В.А., Иванова И.В.

Введение

Ежегодно, население Земли увеличивается на 75 миллионов человек в год. В результате данного роста начинает повышаться спрос на то, без чего современному человеку трудно обходиться в быту: тепло в жилищах (отопление, горячее водоснабжение (ГВС), вентиляция), электричество (освещение, работа электроприборов), различные товары, которые производятся с применением тепла и электроэнергии. Также начинает наращивать скорость процесс урбанизации, который сопровождается постройкой объектов промышленности и устройств, которые ухудшают экологическую обстановку в регионе застройки. В связи с этими потребностями остро встаёт вопрос о сбережении энергоресурсов, улучшении экологической обстановки. Данная проблема спровоцировала создание методов и программ энергосбережения [1]. В

частности, одним из направлений в энергосбережении является решение проблемы ресурсосбережения в многоквартирных жилых домах.

Целью работы является обзор современных методов решения основных проблем ресурсосбережения в многоквартирных жилых домах.

В современном мире, исследователи вопроса энерго- и ресурсосбережения в многоквартирных домах, выделяют следующие способы решения [1 – 5]:

1. Проведение энергоаудита. Данное мероприятие позволяет дать общую картину потерь тепла в доме и поможет выявить основные места теплопотерь;
2. Формирование определенного поведения у жильцов. У каждого человека должны быть выработаны определенные бытовые привычки, которые позволят сохранять тепло и не расходовать лишнюю электро- и теплоэнергию. В качестве примера можно привести следующие: выключение света в комнате, в которой никто не находится на данный момент; регулирование батарей отопления, что позволит контролировать теплоотдачу, что в свою очередь позволит регулировать температуру в комнате на основе наружной температуры воздуха;
3. Утепление многоквартирных домов. Позволит уменьшить общие теплопотери здания;
4. Внедрение ресурсосберегающих технологий;
5. Учет потребления ресурсов, то есть учет потребления горячей воды, электричества и т.д. Данный способ позволит измерять расход ресурсов на определенный дом (квартиру), что поможет в мотивировании жильцов прибегать к методам энергосбережения;
6. Модернизация систем водоснабжения, электроснабжения, отопления, вентиляции. В модернизацию данных систем входит увеличение их эффективности, то есть уменьшение утечек воды ГВС, воды в системах отопления (СО), уменьшение расхода тепла на вентиляцию и т.д.

Стоит отметить следующее: одним из основных видов энергопотерь здания является не достаточная способность удерживать тепло в течение длительного времени. Так как проблема является достаточно важной при конструировании и при строительстве, то предлагаются следующие пути её решения.

Такое мероприятие, как снижение трансмиссионных тепловых потерь и утепление стен может быть использовано для снижения тепловых потерь через наружные ограждения и для устранения выпадения конденсата на внутренней поверхности наружных ограждений. Это может привести к изменению класса энергетической эффективности здания. Приведенное сопротивление теплопередаче отдельных элементов ограждающих конструкций здания является одним из нормируемых показателей тепловой защиты здания.

Нормативные значения устанавливаются в зависимости от градусо-суток отопительного периода. Для соблюдения нормативных значений сопротивления теплопередаче применяются многослойные ограждающие конструкции с утеплителем. В качестве утеплителя могут применяться минераловатные плиты, пенополистирол, эковата и другие материалы, обладающие низкой теплопроводностью.

Другой способ – устранение мостиков холода. Мостики холода представляют собой ограниченные по объему части строительных элементов, через которые осуществляется повышенная теплоотдача. По результатам тепловизионного обследования, в наружных многослойных ограждениях, можно выявить мостики холода. Визуально они не определяются.

Наиболее характерные мостики холода, обусловленные особенностями конструкции:

- неутепленные оконные откосы;
- связи в многослойных ограждениях, пронизывающие слой теплоизоляции;
- не утепленные вентиляционные шахты на кровле;
- кронштейны в конструкции навесного вентилируемого фасада;
- не утепленные парапеты на кровле;
- стенки приямков для размещения подвальных дверей и окон;
- выступающие архитектурные элементы (балконы, карнизы и т. д.).

Применение стеклопакетов с энергоэффективными пластиковыми профилями также может быть использовано для снижения тепловых потерь через наружные ограждения и для устранения выпадения конденсата на внутренней поверхности наружных ограждений. Непрозрачная часть окна (рама) занимает в среднем около 15% площади оконного проема. Теплотери через непрозрачную часть в значительной мере зависят от ее материала и профиля. Материалом для изготовления рамы могут служить алюминий и поливинилхлорид (ПВХ). ПВХ профили со стальными вкладышами более устойчивы к ветровой нагрузке и механическим повреждениям, но менее эффективны. При выборе стеклопакета, следует учитывать количеством воздушных полостей широких профилей из пластика. Чем больше этих воздушных полостей, тем стеклопакет наиболее эффективен [6].

Другое направление – применение газонаполненных стеклопакетов. Для заполнения камер стеклопакетов могут быть использованы инертные газы (аргон, криптон, реже – ксенон), обладающие большей вязкостью и плотностью, и меньшей теплопроводностью, чем воздух. В камерах стеклопакетов, заполненных инертными газами, снижаются конвекционные токи. За счет

снижения теплопроводности и конвекции улучшаются теплозащитные свойства стеклопакета.

Установка стеклопакетов с регулируемым микропроветриванием ограничит инфильтрацию и служит микропроветриванием в пределах санитарной нормы воздухообмена. Применяется только в зданиях, не оборудованных механической приточной вентиляцией. Микропроветривание – возможность фурнитуры, позволяющая открыть створку таким образом, чтобы образовалась щель размером в 0,5...1,0 см по ее периметру. Окно при этом остается закрытым и не откроется сквозняком или от порыва ветра. Микропроветривание возможно установить только на поворотно-откидную створку, при ее отсутствии следует использовать для микропроветривания встраиваемые инфильтрационные клапаны [6]. Оконные конструкции с функцией микропроветривания необходимо использовать в помещениях, оборудованных вытяжной вентиляцией без компенсации притока воздуха. Встраиваемые инфильтрационные клапаны нужно подбирать по пропускной способности, для обеспечения, требуемого воздухообмена в помещениях.

Применение утепленных дверей и ворот, так как, к сожалению, большинство дверей и ворот имеют устаревшую конструкцию, и выполнены преимущественно без утеплителей, что приводит к повышению теплопотерь через них. Современные модели могут включать себя помимо механической защиты, тепловую и звуковую изоляцию. Каждой двери присваивается класс сопротивления теплопередаче. Наиболее утепленным дверям присваивается I класс, менее утепленным – II и III классы.

Другой способ – установка воздушных завес на входных дверях. Защита помещения от холодного воздуха, проникающего внутрь через открытые проемы, происходит благодаря тепловым завесам. Струйная защита проемов бывает двух типов: смесительного и шиберующего [6].

Завесы смесительного типа не создают противодействия врывающемуся холодному воздуху, они просто разбавляют холодный поток теплыми струями, повышая его температуру до требуемой. Обычно тепловые завесы смесительного типа устанавливаются в тамбуре.

Завесы шиберующего типа формируют струйное противодействие втеканию наружного холодного воздуха в проём. При этом струи завес должны быть направлены под углом к плоскости проема наружу. Соприкасаясь с массами холодного воздуха, струи создают эффект «отталкивания» этих масс, после чего струи разворачиваются и затекают обратно в проем. Таким образом, через открытый проем постоянно проходит поток воздуха с расходом, равным сумме расходов воздуха через завесу и частично струями, а также прорвавшегося снаружи.

Применение ветрозащитных пленок в конструкциях стен для уменьшения инфильтрационной составляющей тепловых потерь и для предотвращения эмиссии волокон теплоизоляции в конструкции навесного вентилируемого фасада. Кроме этого, ветро-влажностная пленка защищает слой утеплителя от осадков (ветрозащитная пленка не обеспечивает такой защиты).

Применение ветро-влажностных пленок возможно только в случаях:

- использования теплоизоляционных материалов, подверженных эмиссии волокон (как правило, это минераловатные плиты с малой длиной волокон или с малым количеством связующего);
- малого сопротивления воздухопроницанию материалов наружной стены (пустотелый кирпич, пенобетон, газосиликат и т. д.).

Представленные способы решения не являются новейшими, однако это не отменяет их эффективность. Вследствие ухудшения экологической ситуации и уменьшении запасов органического топлива в мире, разработка и использование новых методов энерго- и ресурсосбережения должна являться приоритетной задачей. Чтобы в РФ была возможность справиться с разработкой и использованием новых ресурсо- и энергосберегающих технологий необходимо перейти на новый технический уровень, а также просвещать граждан в важности сбережения ресурсов и энергии.

Заключение.

Исходя из того факта, что увеличение населения приводит к увеличению расхода органического топлива на производство электричества и тепла, можно сказать, что разработка, внедрение и использование энергосберегающих, и ресурсосберегающих технологий при строительстве, и эксплуатации многоквартирных жилых домов РФ, должны иметь первостепенную важность. Ожидаемым результатом от применения методов экономии ресурсов и энергии будет уменьшение расхода общего органического топлива, что позволит РФ сохранять как можно дольше энергетическую независимость.

Библиографический список

1. Крылов, Ю. А. Энергосбережение и автоматизация производства в теплоэнергетическом хозяйстве города. Частотно-регулируемый электропривод / Ю. А. Крылов. – Москва: Лань, 2013. – 234 с.
2. Беззубцева, М.М. Прикладная теория тепловых и массообменных процессов в системном анализе энергоемкости продукции: учеб. пособие / М.М. Беззубцева, В.С. Волков, В.В. Зубков. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2013. – 131 с.
3. Ардашкин, И.Б. Основы ресурсоэффективности: учебное пособие / И.Б. Ардашкин. – Москва: ТПУ, 2012. – 132 с.
4. Полищук, А.Г. Перспективы применения светильников со светодиодами для энергосберегающего освещения / А.Г. Полищук, А.Н. Туркин // Энергосбережение. – 2008. – № 2. – С. 52-58.
5. Черенцова, А. А. Энерго- и ресурсосбережение: учеб. пособие / А. А. Черенцова. – Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2018. – 125 с.
6. Алтухов, И.В. Проблемы энерго и ресурсосбережения в теплоэнергетике, теплотехнике и теплотехнологиях: учеб. пособие / И.В. Алтухов. – Москва: Лань, 2018. – 56 с.

Сведения об авторах

ФИО Снежков Владислав Алексеевич
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 pantov.ker@mail.ru

ФИО Иванова Ирена Викторовна
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 работе рассмотрены современные методы решения основных проблем энерго- и ресурсосбережения в многоквартирных домах РФ.

Ключевые слова: ресурсосбережение, энергосбережение, отопление, система отопления, инфильтрация, коэффициент инфильтрации, освещение, теплоизоляция.

УДК 62.69

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.01

Анализ воздействия продуктов сгорания топлив на окружающую среду

Иванов М.М., Павловцев А.В.

Введение

Основным источником теплоты при сгорании топлив является окисление углерода (С), водорода (Н) и серы (S). По мере увеличения молярной массы в топливах могут появляться в незначительном количестве соединения азота, кислородсодержащие соединения, тяжелые металлы и др.

Продукты сгорания оказывают определяющее влияние на энергетические и экологические показатели различных теплотехнических установок. В первую очередь к числу экологически вредных продуктов сгорания следует отнести так называемые токсичные газ, т.е. вещества, оказывающие негативные воздействия на организм человека и окружающую среду [1].

Основными токсичными веществами являются оксиды азота (NO_x); оксид углерода (СО); различные углеводороды (СН); сажа; соединения, содержащие свинец и серу.

Если температура превышает 1500 К, то азот и кислород воздуха вступают в химическое взаимодействие по цепному механизму:



Определяющей является первая реакция (1), скорость которой зависит от концентрации атомарного кислорода. При сгорании топлив образуется, главным образом, оксид азота NO, который затем в атмосфере окисляется до NO₂. Образование NO увеличивается с ростом температуры газов и концентрации кислорода и при данной температуре не зависит от углеводородного состава топлива. Находящийся в атмосфере NO₂ представляет собой газ красновато-бурого цвета, обладающий в больших концентрациях удушливым запахом, и он оказывает негативное воздействие на слизистые оболочки глаз и носа, а также на нервную систему человека.

В атмосфере над автомагистралями и прилегающих к ним территориях из оксидов азота встречаются, в основном, NO и NO₂ [1]. При этом:

- NO является неустойчивым компонентом, который в течение от 0,5...3 до 100 ч окисляется в NO₂;
- NO₂ в 7 раз токсичнее NO, действует на организм человека как острый раздражитель (при концентрации 15 мг/м³) и может при высоких концентрациях (200...300 мг/м³) вызывать отек легких;
- реагируя с атмосферной влагой, оксиды азота образуют азотную кислоту, вызывающую коррозию металлов, уничтожение растительности и т.д.

Оксид углерода (CO) образуется во время сгорания топлива при недостатке кислорода или при диссоциации CO₂. Основное влияние на образование CO оказывает состав смеси: чем она богаче, тем выше концентрация CO. Это бесцветный и не имеющий запаха газ, время жизни в атмосфере 2...24 месяцев. При вдыхании вместе с воздухом он интенсивно соединяется с гемоглобином крови, что уменьшает ее способность к снабжению организма кислородом, результат – обмороки. Воздействие на центральную нервную систему проявляется в изменении цветовой и световой чувствительности глаз – возрастает вероятность аварий. Симптомы отравления организма газом CO: головная боль, сердцебиение, затруднение дыхания, тошнота.

Углеводороды (СН) состоят из исходных или распавшихся молекул топлива, которые не принимали участия в сгорании. Углеводороды появляются в отработавших газах (ОГ) ДВС вследствие гашения пламени вблизи относительно холодных стенок камеры сгорания, в «защемленных» объемах, находящихся в вытеснителях и в зазоре между поршнем и цилиндром над верхним компрессионным кольцом. В дизелях СН образуются в

переобогащенных зонах смеси, где происходит пиролиз молекул топлива. Если в процессе расширения в эти зоны не поступит достаточное количество кислорода, то СН окажется в составе ОГ. В тех концентрациях, в которых СН содержится в воздухе, например, в зонах с интенсивным движением автотранспорта, они не приносят непосредственного вреда здоровью человека, однако, могут вызывать реакции, которые ведут к образованию соединений, вредных даже при незначительной концентрации:

- СН под действием солнечных лучей может взаимодействовать с NO_x и образовывать биологически активные вещества, которые раздражающе действуют на органы дыхательных путей и вызывают появление так называемого смога;
- выбросы бензола, толуола, полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), которые образуются в результате пиролиза легких и средних фракций топлива при температуре 600...700 К (такие условия возникают вблизи холодных поверхностей цилиндра при наличии там несгоревших углеводородов) – относятся к так называемым канцерогенным веществам. Они не выводятся из организма человека, а со временем накапливаются в нем, способствуя образованию злокачественных опухолей;
- газообразные низкомолекулярные углеводороды оказывают наркотическое действие на организм человека, вызывая состояние эйфории, что увеличивает вероятность ДТП;
- полициклические ароматические углеводороды, содержащиеся в выбросах двигателей, являются канцерогенами, из которых наибольшей активностью обладает бензапирен ($\text{C}_{20}\text{H}_{12}$), содержащийся в отработавших газах дизелей [1].

Сажа – это твердый продукт, состоящий из углерода (С) и 1...3 % (по массе) водорода (Н). Сажа образуется при температуре выше 1500 К в результате объемного процесса термического разложения (пиролиза) при сильном недостатке кислорода. Реакция пиролиза выражается уравнением:



Наличие сажи в ОГ дизелей обуславливает черный дым на выпуске. Видимым автомобильный выхлоп становится при концентрации сажи 130 мг/м³. Сажа представляет собой механический загрязнитель носоглотки и легких.

Примерно 50...70% свинца, находящегося в бензине, попадает вместе с ОГ в атмосферу в форме свинцовых солей, т.е. в виде частиц диаметром меньше 1 мкм. При этом: соединения свинца очень ядовиты; проникают в организм человека вместе с воздухом и через кожу, не выводятся, накапливаясь в нем; негативно воздействуют на центральную нервную и кровеносную системы,

вызывая нервные и психические расстройства: возникает головная боль; утомление; нарушение сна; ферментативная активность белков живых организмов; ПДК среднесуточная составляет $0,0003 \text{ мг/м}^3$ [1].

Сера, содержащаяся в дизельном топливе, мазуте и каменном угле выбрасывается в атмосферу после сгорания этих топлив в форме диоксида серы SO_2 . Диоксид серы очень вреден для растений (препятствует фотосинтезу растений) и способствует возникновению «кислотных» дождей. При концентрации SO_2 в воздухе $0,9 \text{ мг/м}^3$ происходит изменение процессов фотосинтеза растений; через 5...10 дней хвоя сосны, ели начинает рыжеть и преждевременно опадает. Оксиды серы при малых концентрациях (0,001%) вызывают раздражение дыхательных путей, при концентрации 0,01% происходит отравление людей за несколько минут. Присутствие в ОГ соединений свинца и серы делает невозможным использование *каталитических нейтрализаторов*, предназначенных для снижения токсичности ОГ. Установлено, что смесь SO_2 и Co при длительном воздействии на человека вызывает нарушение генетической функции организма. При наличии в атмосфере CH (или их радикалов), оксидов азота и оксида углерода при интенсивном ультрафиолетовом излучении солнца образует озон O_3 , являющийся сильнейшим окислителем и вызывающий при соответствующей концентрации ухудшение самочувствия людей. При высоком содержании в малоподвижной и влажной атмосфере NO_2 , O_3 и CH возникает туман коричневого цвета, который получил название «смог» (от английских слов *Smoke* – дым и *fog* – туман). Смог является смесью жидких газообразных компонентов, он раздражает глаза и слизистые оболочки, ухудшает видимость на дорогах [2].

Основными источниками выброса токсичных продуктов сгорания являются: автомобили, промышленность, тепловые и электрические станции.

В некоторых городах содержание в атмосфере токсичных продуктов сгорания превышает предельно допустимую концентрацию (ПДК) в несколько раз. Поэтому большое значение приобрела нейтрализация и очистка продуктов сгорания перед их выходом в атмосферу. С этой целью используются различные нейтрализаторы и фильтры. Одновременно улучшается состав углеводородных топлив (уменьшение содержания серы, свинца, ароматических углеводородов), расширяется использование газовых топлив.

В перспективе применение в качестве топлива водорода, что полностью исключит содержание в продуктах сгорания CO , CH_4 и других токсичных углеродсодержащих компонентов.

Одним из основных продуктов сгорания углеводородных топлив является диоксид углерода (CO_2), который не относится к токсичным газам. Годовая

эмиссия CO₂ составляет 600...1000 млрд. т/год. Основное количество CO₂ производится природными источниками, и только примерно 3...3,5 % связаны с технической деятельностью человека (антропогенные выбросы). Однако эти проценты могут нарушать равновесие в атмосфере и служить причиной возникновения так называемого «парникового» эффекта. В увеличении средней температуры на поверхности земли и заключается «парниковый» эффект, который обусловил благоприятные условия для возникновения и развития жизни на Земле [2].

Из всех антропогенных «парниковых» газов (CH₄, галогенированные углеводороды, озон и гемеиоксид азота – N₂O) главное значение для усиления «парникового» эффекта имеет CO₂. Важнейшими источниками антропогенных выбросов CO₂ являются:

- тепловые и электрические станции – 27 %;
- промышленность – 20%;
- отопление жилых помещений и малая энергетика – 20%;
- транспорт – 17%.

Заключение.

Снижение антропогенных выбросов CO₂ стало острой экологической проблемой. В то же время известно, что чем больше CO₂ образуется при сгорании углеводородных топлив, тем оно совершеннее. Поэтому решение проблемы уменьшения антропогенных выбросов CO₂ возможно путями:

- уменьшение количества сжигаемого углеводородного топлива, т.е. повышения топливной экономичности теплоэнергетических устройств и тепловых двигателей;
- применение топлив с малым содержанием углерода (сжатый и сжиженный газы, спирты и эфиры);
- использование водорода;
- перехода к широкому применению альтернативных источников энергии (энергии солнца и ветра, гидроэнергия, атомная и ядерная энергия).

Библиографический список

1. Воликов, А.Н. Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности / А.Н. Воликов. – Ленинград: Недра, 1989. – 160 с.
2. Головков, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головков. – Москва: Лесн. пр-ть, 1987. – 224 с.

Сведения об авторах

ФИО	Иванов Михаил Михайлович
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 Павловцев Антон Вадимович
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

Аннотация

Органическое ископаемое топливо (твёрдое, жидкое, газообразное) является в настоящее время и по прогнозам до 2030 г. основным источником энергии (теплоты) для промышленного использования, а также основным источником энергии для транспортных двигателей. Важное значение имеет снижение экологической напряженности, существующей в ряде городов, в том числе в зонах отдыха за счет снижения вредных выбросов от энергетических установок и двигателей.

Ключевые слова: топливо, токсичные вещества, предельно допустимая концентрация, водород, двигатель внутреннего сгорания, теплоэнергетическая установка.

УДК 662.61

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.01

Применение погодного регулирования АИТП как рационализация потребления ресурсов

Павловцев А.В., Иванова И.В.

Введение

На данный момент для каждого жильца многоквартирного дома важным является вопрос о снижении затрат на услуги жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Одним из вариантов решения этого вопроса является использование систем погодного регулирования на индивидуальных тепловых пунктах (ИТП). Для того чтобы понять, насколько эта система экономична и эффективна необходимо разобраться с тем, что из себя представляет автоматизированные индивидуальные тепловые пункты (АИТП), а также оценить их эффективность.

Наследием социалистического хозяйства в области теплофикации явилась система централизованного теплоснабжения. Оптимальная, по сути, но, к сожалению, далеко не самая экономичная и энергоэффективная. Большая часть

домов, которые обслуживает центральный тепловой пункт (ЦТП) находится на различном расстоянии от него, имеют различную тепловую нагрузку и отличаются по теплотехническим характеристикам, поэтому теплоноситель в дома поступает с различными параметрами. Установка индивидуального теплового пункта (ИТП) на входе теплоносителя дает возможность его подготовки до параметров, требуемых потребителем.

Индивидуальный тепловой пункт представляет собой систему устройств, предназначенных для соединения теплопотребителей и тепловой сети.

Считается, что установка ИТП дает энергосберегающий эффект до 25%, при этом тепловые сети в системе ЦТП работают с превышением расчетного расхода воды как минимум на 30...40% и с огромными потерями в теплотрассах.

Переход на автоматизированные индивидуальные тепловые пункты способен принести энергосберегающий эффект в 25% и создать определенные экономические выгоды, которые достигаются за счет использования погодного регулирования [1].

Под погодным регулированием понимают изменение температуры сетевой воды в зависимости от температуры наружного воздуха посредством контролера, который в свою очередь получая данные от термодатчиков (датчик температуры наружного воздуха) и руководит действиями насосов, реле, обратных и запорных клапанов, также производит «подмес» сетевой воды из обратного трубопровода (более низкая температура воды) с водой из подающего (более высокая температура воды), используя данные от датчиков температуры наружного воздуха [2].

Чем точнее настройки температурных параметров для помещений, тем больше можно снизить потребление ресурсов, при этом обеспечивая комфортные условия. Максимальный эффект можно ощутить в межсезонье, которое в некоторых регионах может длиться до полугода. Именно для этого периода характерны значительные колебания температуры воздуха [3].

На данный момент самым современным энергосберегающим решением является внедрение автоматизированных индивидуальных тепловых пунктов. АИТП предназначены для контроля и автоматического управления значениями параметров теплоносителя, подаваемого в системы отопления (СО), горячего водоснабжения (ГВС), вентиляции и кондиционирования с целью оптимизации теплопотребления. Главным отличием АИТП является функционирование без обслуживающего персонала, что достигается за счет использования систем автоматизированного управления.

К преимуществам АИТП можно отнести:

- возможность автоматического и ручного режима управления оборудованием теплового пункта;

- автоматический контроль и регулирование величины расхода теплоносителя в подающем трубопроводе, поддержание графика температуры воды, подаваемой в систему отопления в соответствии с температурой наружного воздуха, временем суток и рабочим календарем, а также ограничение температуры воды, возвращаемой в теплосеть;
- автоматическое поддержание заданной температуры ГВС в пределах санитарных норм, поднятие напора теплоносителя до требуемого значения в случае недостаточного напора на вводе;
- автоматическая подпитка систем отопления и вентиляции при независимой схеме присоединения;
- индивидуальные алгоритмы регулирования режимов теплопотребления для зданий;
- возможность дистанционного контроля и управления режимами работы теплового пункта;
- снижение затрат на систему отопления [4].

Однако у этих систем имеются и существенные недостатки, такие как высокая стоимость монтажа и оборудования, а также низкий срок службы – 12 лет [5].

Заключение.

Внедрение автоматизации тепловых пунктов способно сохранить до 25% тепла в доме в течение года, а также устраняет возможность переотпуска теплоты, что позволяет снизить расход потребления энергоресурсов, а, следовательно, уменьшает количество выбросов парниковых газов в атмосферу. Также следует отметить, что максимальный эффект экономии в АИТП достигается за счет использования системы погодного регулирования.

Библиографический список

1. Экономия по еврейски. Эффективность АИТП. – URL: <https://stroypuls.ru/sggh/2008-sgh/104-sentyabr-2008/28132/> - (дата обращения 10.08.2021).
2. Системы теплоснабжения. Погодное регулирование (терморегулятор) на систему отопления МКД. –URL: <https://zen.yandex.ru/media/zhkkh/pogodnoe-regulirovanie-termoregulator-na-sistemu-otopleniia-mkd-esli-v-nem-tehnicheskii-smysl-i-ekonomicheskaja-vyгода-5d68f262fc69ab00aeeb7a35> - (дата обращения 21.09.2021).
3. Автоматизация тепловых пунктов – современное решение старых проблем. – URL: https://rosschet.ru/articles/avtomatizatsiya_teplovykh_punktov_sovremennoe_reshenie_starykh_problem/ - (дата обращения 13.10.2021).
4. Преимущества установки АИТП. – URL: <http://guzha.pushkin.gov.spb.ru/informacija-dlja-naselenija/preimuschestva-ustanovki-aitp/#:~:text=Преимущества%20АИТП%3A%20-%20возможность%20автоматического,трубопроводе%2C%20поддержание%20графика%20температуры%20воды> – (дата обращения 21.09.2021).
5. Оценка эффективности АИТП погодного регулирования, подключенных к СТС качественного регулирования. – URL: <https://www.teplovichok.today/post/2021-55> - (дата обращения 19.10.2021).

Сведения об авторах

ФИО

Павловцев Антон Вадимович

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 Ирена Викторовна
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

Проведена оценка энергоэффективности автоматических индивидуальных тепловых пунктов, а также анализ их достоинств и недостатков. Дано понятие системе погодного регулирования и проведен обзор рациональности её использования.

Ключевые слова: тепловые пункты, автоматизация тепловых пунктов, автоматические индивидуальные тепловые пункты, индивидуальные тепловые пункты, погодное регулирование.

УДК 697.3

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.01

Рациональное использование энергоресурсов в жилом секторе

Зотов А.Д., Иванова И.В.

Введение

Реализация комплекса мероприятий по рациональному использованию энергоресурсов является важной и актуальной задачей. Сектор многоквартирного жилья является одним из самых проблемных с точки зрения энергоснабжения. От 2/3 до 3/4 общего потребления энергии в жилищном секторе приходится на отопление и горячее водоснабжение. К сожалению, никого до определённого времени особо не беспокоила стоимость отопления жилого дома, на каких стадиях происходили потери тепловой энергии и как их минимизировать. Ситуация изменилась с энергетическим кризисом, когда цены на энергоносители выросли в геометрической прогрессии.

Подавляющее большинство многоквартирных домов не соответствуют современным стандартам энергоэффективности. Жилищный сектор считается одной из самых энергосберегающих проблем. Поэтому одним из основных

направлений ресурсоснабжения в г. Санкт-Петербурге является именно энергосбережение. Энергосбережение в многоквартирных домах – это в первую очередь как сокращение потерь при водопотреблении, так и тепла за счет утепления строительных ограждений, а именно: стен, полов, потолков, окон и дверей.

Решения по энергосбережению и сбережению ресурсов в многоквартирных домах включают:

- энергоаудит, который дает обзор потерь ресурсов и тепла в жилом доме и выявляет слабые места, которые необходимо устранить, после чего можно будет приступить к решению этих проблем, выбрав наиболее подходящий вариант для жилого дома;
- развитие образования в области энергосбережения и ресурсоснабжения;
- снижение энергозатрат при эксплуатации жилого дома;
- формирование энерго- и ресурсосберегающего поведения жителей дома;
- развитие перспективных направлений жилищного строительства и эксплуатации жилья;
- местное потребление коммунальных ресурсов;
- современное оборудование систем водоснабжения (холодного и горячего), канализации, газоснабжения, водяных насосов, бойлеров, газовых трактов;
- утепление многоквартирных домов (работы по повышению теплозащитных свойств ограждающих конструкций, установка наружных тамбуров, заполнение окон с тройным остеклением);
- установка приборов учета расхода холодной и горячей воды, тепловой энергии на горячее водоснабжение и отопление;
- последовательное внедрение ресурсоснабжающих технологий, новых материалов и др.

Собственники помещений в многоквартирном доме обязаны выбрать и реализовать один из способов управления многоквартирным домом:

- непосредственное управление собственниками помещений в многоквартирном доме, количество квартир в котором составляет не более чем тридцать;
- управление товариществом собственников жилья либо жилищным кооперативом или иным специализированным потребительским кооперативом.

Способ управления многоквартирным домом выбирается на общем собрании собственников помещений в многоквартирном доме и может быть выбран и изменен в любое время на основании его решения. Решение общего собрания о выборе способа управления является обязательным для всех

собственников помещений в многоквартирном доме (статья 161 Жилищного кодекса Российской Федерации (далее – ЖК РФ)).

Установка общедомовых приборов учета и контроля тепловой энергии позволяет сэкономить до 40% нормативов. Заявляемый способ позволяет потребителям иметь комфортные условия проживания за счет автоматического регулирования температуры воздуха внутри жилого помещения, независимо от температуры наружного воздуха, и оплачивать фактически потребленную тепловую энергию. Автоматическое регулирование горячего водоснабжения по температуре в месте монтажа, согласно регламенту, также дает значительную экономию ресурсов.

Стоит отметить, что актуальные вопросы ресурсоснабжения в многоквартирных домах имеет ряд аспектов.

Юридический. Существует реальная возможность объединить и отстоять интересы большинства арендодателей и повлиять на неплательщиков.

Технический. Замена освещения коридоров, лестничных площадок и входов в здание на энергосберегающие лампы. Замена одной лампы в непрерывном режиме дает ежегодный эффект около тысячи рублей. Установка фоторезисторов на линии освещения требует отдельного расчета, а, следовательно, должна присутствовать мотивация жителей многоквартирных домов менять лампы внутри квартир самостоятельно. Местные котельные или водогрейные установки позволяют сэкономить за счет снижения потерь тепла и воды при транспортировке к потребителям. При обнаружении частого использования владельцами электрических обогревателей в дополнении к центральному отоплению необходимо рассматривать вопрос об утеплении фасадов. Очевидно, что несвоевременный косметический ремонт ведет к срочному, то есть капитальному ремонту. Фактор времени имеет прямое влияние на экономию ресурсов.

Вспомогательный. Затенение дома – снижение энергозатрат на кондиционирование, уменьшение ветровой нагрузки на дом, что также приводит к мерам по энергосбережению.

Информационно-аналитический. Информирование жителей о причинах, целесообразности и стоимости ресурсосберегающих мероприятий, таких как контроль качества поставляемой в дом электрической и тепловой энергии; отклонение от стандартов; контроль давления воды в системе хозяйственного водоснабжения; яркости освещения помещений и контроля температуры батарей центрального отопления [1].

Что касается теплоснабжения, стоит упомянуть про квартирный учет тепла. Установка индивидуальных теплосчетчиков требует горизонтального функционирования системы. Чтобы максимизировать эффективность

современных счетчиков тепла, должна быть возможность получать показания автоматически и на расстоянии. Это означает, что оператору не нужно приходить каждый месяц и снимать выписку. На сегодняшний день практически в каждом многоквартирном доме пытались установить устройство, учитывающее потребляемые ресурсы. Соответственно, есть возможность сэкономить за счет снижения посторонних затрат на эти ресурсы. Благодаря автоматизации современные системы сбора информации могут заменить сотрудников в организациях, которые раньше ходили по квартирам и снимали заявления. Помимо перечисленного, благодаря автоматизированным системам есть возможность вносить коррективы в работу тепловых сетей. Сюда можно отнести изменения температуры подачи тепла в сетях.

Стоит отметить проблему с горячим водоснабжением (ГВС). Выходом при перебоях подачи ГВС в многоэтажных домах являются водонагреватели. Такое устройство может быть установлено на всей лестничной клетке. Здесь жильцы сами решают, будет ли это индивидуальный водонагреватель или нет. Несмотря на то, что сейчас для учета расхода и потребления воды используются современные приборы, проблемы с учетом и расчетами не исчезли. При учете потребления водных ресурсов по квартирам и при установке водомера на весь дом возникают нестыковки и расхождения в данных. Это связано с нецелевым использованием воды и прорывами теплотрасс, а собственники обязаны платить по тем показаниям, которые есть в их квартире. Коммунальные услуги, естественно, не являются прибыльными. Поэтому в некоторых районах ввели «тринадцатую квитанцию». В нее включается сумма, которую не заплатил потребитель в течение года за потребление воды [2].

Нельзя не упомянуть и про введение энергетического паспорта многоквартирных зданий. Целью составления такого паспорта является пошаговая работа над энергобалансом жилого фонда, контроль энергопотребления, а также определение мероприятий по энергосбережению.

Энергетический паспорт объекта должен содержать следующие разделы: строительный; теплотехнический; энерготехнический; водоснабжение и канализация; поставка газа; ежегодное потребление энергии.

Он разрабатывается на первых этапах строительства и систематизирует нормативное потребление ресурсов в соответствии с проектом здания. Сравнение данных об использовании ресурсов различных зданий может дать основную информацию для анализа ситуации, а также привести к установке устройств учета ресурсов, определить задачи ресурсоснабжения. Однако составление энергетических паспортов зданий и проведение на их основе энергомониторинга является лишь информационным обеспечением работ по ресурсосбережению. Безусловно, важно, чтобы в этой работе использовались

современные компьютерные технологии. Владелец жилого фонда должен определить источники финансирования и оператора работ. Поручение данной работы жилищной организации в рамках договора управления жилищем должно быть четко обосновано, с дальнейшим обязательством поддерживать энергетический паспорт в актуальном состоянии [3].

Заключение. Ресурсоснабжение – очень важная наука. Ведь в состав ресурсоснабжения, как одной из форм реализации резервов производства, входит нормирование, а это важнейший и самый эффективный инструмент экономии материальных и тепловых ресурсов.

Подводя итоги, можно сделать вывод, что ни одна проблема не может быть решена без проведения политики по экономии энергоресурсов [4]. Следует понимать, что борьба за экономное использование истощающихся ресурсов скоро станет одной из актуальнейших проблем современности.

Библиографический список

1. YOUHOUSE.RU. Управление многоквартирным домом. Ресурсосбережение в доме. – URL: <http://youhouse.ru/publik/63.php> - (дата обращения 10.01.2022).
2. YOUHOUSE.RU. Управление многоквартирным домом. Ресурсоснабжение. – URL: http://youhouse.ru/resursu_snab/ - (дата обращения 06.02.2022).
3. Анисимова, Р.А. Модернизация объектов коммунальной инфраструктуры / Р.А. Анисимова. – Москва: МГУ, 2008. – 23 с.
4. Махаева, Н.В., Анализ проблем ресурсосбережения жилищно-коммунального хозяйства / Н.В. Махаева. Автореферат дис. на соискание уч. ст. к.э.н. – Тольятти: ТГУС, 2005. – 18 с.

Сведения об авторах

ФИО	Зотов Александр Дмитриевич
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 Ирина Викторовна
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

Данная статья посвящена одной из актуальной проблем в северной столице Российской Федерации – ресурсоснабжение и ресурсосбережению. Правильные решения участников процесса жилищного сектора даст положительный эффект

для будущего поколения и в целом решит вопросы рационального использования энергоресурсов в г. Санкт-Петербурге.

Ключевые слова: ресурсоснабжение, многоквартирные дома, теплоснабжение, энергоресурсы, энергетический паспорт.

УДК 621.31

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.31

Биотопливо как альтернатива источникам энергии

Иванова И.В.

Введение

Биотоплива является наиболее дешевым и возобновляемым источником энергии. Виды топлива, которые используются или будут использоваться, могут составить длинный список в зависимости от географического месторасположения и целей выработки энергии.

Целью работы является произвести анализ основных видов биотоплива и выделить наиболее перспективные.

Общие виды биотоплива, которые могут использоваться для нужд теплоснабжения, комбинированного производства тепла и электроэнергии, приведены в табл. 1.

Таблица 1. Виды биотоплива

№ п/п	Вид топлива	Происхождение
1	Солома	Остатки от возделывания зерновых культур
2	Древесная щепа, дрова	Отходы от прореживания и сплошной рубки леса в лесном комплексе
3	Древесная щепа, опилки, стружка, бруски	Отходы деревообрабатывающей промышленности
4	Остатки процессов очистки, мусор	Отходы мукомольных заводов, отходы жилищно-коммунального хозяйства
5	Биогаз	Отходы животноводства
6	Все сельскохозяйственные культуры	Выращивание биомассы с целью получения из нее топлива

Солому невыгодно использовать как топливо из-за высокого содержания щелочей (натриевой и, в основном, калиевой) и хлора. Хлор и щелочи могут приводить к значительной коррозии поверхностей нагрева пароперегревателей при температурах пара, которые создаются в современных котлах, работающих на угле.

Отходы растениеводства (солома, костра, лузга и др.) — это фитомасса с энергопотенциалом (без выращивания специальных высокоурожайных сортов растений на биотопливо). Энергетический потенциал растениеводства зависит от урожайности агрокультур и величины выхода биогаза с 1 т биомассы.

Урожайность таких сельскохозяйственных культур, как топинамбур, дягель, дальневосточная гречиха и других, по литературным данным составляет 100...200 т/га. Выход биогаза с 1 т сырой массы составляет 150...200 м³.

Отходы животноводства, которые при биологической переработке способны, обеспечить энергопотенциал, также могут принести дополнительный экологический эффект. Применение биогазовых энергетических установок позволит существенно улучшить экологическую обстановку вблизи крупных ферм и комплексов, где к настоящему времени скопились огромные количества не переработанной биомассы. К тому же можно рассчитывать на получение значительного количества высококачественных органических удобрений, что позволит сократить энергоемкое производство минеральных удобрений.

Древесно-растительная масса – наиболее перспективный и возобновляемый источник энергетического сырья [1 – 4]. Обычно выделяют несколько разновидностей биотоплива: древесное топливо (дрова); древесные отходы, не используемые в качестве деловой древесины или технического сырья; тонкомерная и некондиционная древесина; древесные отходы, получаемые при лесопользовании и деревообработке, химической и биологической переработке; кустарниковая растительность, которая вырубается при мелиоративных работах и очистке площадей под новое строительство, а также новые виды древесных растений и тесно растущих кустарниковых насаждений.

Доля древесины в топливном балансе на сегодняшний день по подсчетам специалистов, за счет широкомасштабного использования биомассы как энергетического топлива может увеличиться в несколько раз. Древесное топливо состоит в основном из клетчатки (50...70%) и межклеточного вещества лигнина (20...30%). Ценность древесного топлива с экологической и технологической точки зрения состоит в малой зольности (до 1% на сухую массу), отсутствии серы (за исключением хвойной коры) и большом содержании летучих веществ (до 80%). Зольность сосновой древесины – 0,21%, березовой – 0,29...0,37%. Теплота сгорания древесного топлива зависит от его рабочей влажности и колеблется в широких пределах. В среднем для смешанного древесного топлива (при влажности 40%) теплота сгорания – 3200 ккал/кг.

Возможно не только прямое сжигание древесины и древесных отходов в топках котлов, но и получение генераторного газа для последующего использования в небольших котлах и даже в небольших газовых турбинах. Генераторный газ, получаемый из древесины, более чист, чем газ из угля или мазута [3, 4]. Этот газ – экологически чистое топливо для автомобильного транспорта лесхозов и сельскохозяйственных предприятий. В наших условиях приоритетность дров перед углем и торфобрикетами качественно возрастает из-за существенного природоохранительного эффекта, связанного с утилизацией

отходов лесодобычи, оздоровлением лесов, расчисткой пожарищ и уменьшением вредных выбросов в атмосферу. Кроме того, древесная зола – хорошее удобрение для сельского хозяйства, пользующееся большим спросом.

Древесные отходы образуются по всей технологической цепочке работы лесного комплекса: лесовыращивание – лесозаготовки – лесопиление – деревообработка. При использовании низкокачественной древесины и древесных отходов в энергетических целях возникают значительные проблемы. Так, если отходы деревообработки в настоящее время используются фактически полностью, то при использовании в качестве топлива отходов лесозаготовок появляются трудности. Вся суть в том, что вышеуказанные отходы, а также тонкомерная древесины от рубок ухода за лесом рассредоточены на большой площади. Кроме того, отсутствует технология с соответствующим набором машин и механизмов для сбора и транспортировки лесосечных отходов к местам потребления. Ресурсы лесозаготовок составляют основу топливного потенциала и представлены древесиной, заготавливаемой в лесах в порядке главного пользования, при рубках ухода за лесом, санитарных и прочих рубках.

Анализируя современное состояние лесопользования, следует отметить, что его интенсивность может быть выше. Неполное использование древесного потенциала сегодня объясняется, прежде всего, отсутствием возможности полной утилизации мелкотоварной древесины, которая пока не востребована рынком. Дровяной потенциал также реализуется не полностью и неэффективно.

По аналитическим и экспертным оценкам мелкотоварная деловая, а также дровяная древесина сегодня составляют около 20...25% древесины, заготовленной в порядке главного пользования, и 60% – в порядке промежуточного. Существенного изменения товарной структуры лесозаготовок в ближайшее время не ожидается, так как сроки рубок остаются прежними. Возможно небольшое укрупнение сортиментов от рубок ухода вследствие сокращения ухода за молодняками и увеличения прореживаний.

Основой топливного потенциала с использованием возобновляемых ресурсов древесной биомассы является мелкотоварная (дровяная) древесина, заготавливаемая при необходимых лесных рубках, очистке лесов от захламленности с выборкой сухостойной древесины, а также отходы лесозаготовок, деревообработки и лесопиления. Дополнительным источником топливных ресурсов может быть древесина, вырубленная при раскорчевке или расчистке сельскохозяйственных земель от леса и кустарника для трансформации угодий и других целей. Одновременно определенный древесный потенциал извлекается при торфодобыче и торфопереработках.

Для получения дровяной древесины источником являются запасы сухостойной древесины и ликвидной захламленности, представляющие собой

естественный отпад, который вполне успешно может быть реализован на дрова. Минимальный запас такой древесины в каждом выделе, где проводятся рубки ухода – 2...2,5 м³/га.

Источником получения дровяной древесины вполне могут стать уход в чистые молодняки в возрасте до 20 лет, которые исключаются из расчета рубок ухода, но вполне могут быть в него включены при возможности реализации дровяной продукции. Хотя такие отходы диаметром до 3 см целесообразней оставить на месте рубки как органическое удобрение.

Лесные предприятия в настоящее время экономически не заинтересованы в комплексной переработке древесного сырья, особенно его вторичных ресурсов. И поэтому учет неликвидного сырья и отходов несовершенен. Если учесть отходы при переработке до недавнего времени импортируемого из России древесного сырья, а также предстоящее крупное увеличение объема собственных лесозаготовок, то энергетический потенциал отходов в ближайшее время можно оценить величиной 3,0 млн. т.у.т.

Не все отходы деревопереработки могут быть использованы для производства энергии, так как часть их используется в неэнергетических целях (как сырье для производства стройматериалов). Часть отходов лесного хозяйства заготавливает население. Однако остающаяся величина отходов деревопереработки, лесозаготовок и рубок ухода составляет внушительный энергетический потенциал, на базе которого можно вырабатывать ежегодно 2...3 млрд. кВт ч электроэнергии и несколько сотен тысяч Гкал теплоты.

Хорошим видом топлива из биомассы, например, для газогенераторов являются отходы гидролизной переработки древесины – лигнин. В отвалах гидролизных заводов скапливается по разным оценкам от 5 до 20 млн. тонн лигнина. Энергетически это эквивалентно от 1...4,5 млн. тонн нефти. Использование же отходов лесозаготовительного и деревообрабатывающего производства может позволить ежегодно замещать до 0,8 млн. тонн нефти.

В настоящее время плохо осваиваются заболоченные лесосеки, остаются отходы на обычных лесосеках, уничтожается древесина при мелиоративных работах, на трассах линий электропередач, строительства и эксплуатации нефте- и газопроводов, дорог и т. д. При обычной технологии заготовки леса не менее 15...20% древесины остается на лесосеке в виде пней.

Весьма перспективным, как показали первые опыты, является создание специальных энергетических плантаций на основе быстрорастущих и высокоурожайных растений древесных и кустарниковых пород. По некоторым источникам с 1 га земли возможно получение 100...150 тонн растительной массы типа топинамбура. Это означает, что энергетический потенциал одного га земли составит более 10 т.у.т. в год.

Допускаемый диапазон влажности используемых древесных отходов (от 30 до 55%) оказывает влияние на технические показатели котлоагрегатов, что важно учесть при сравнительном анализе вариантов.

Тепловые характеристики древесных отходов, используемых в качестве топлива в котлоагрегатах, приведены в табл. 2.

Таблица 2. Тепловые характеристики древесных отходов

№ п/п	Топливо	Влажность, %	Удельный вес, кг/м ³	Теплоемкость топлива		
				МДж/кг	Гкал/м ³	Гкал/кг
1	Древесные опилки	50	260	8,4	0,52	2005
2	Древесные опилки	30	185	12,6	0,55	3007
3	Древесная щепа	50	320	8,4	0,64	2005
4	Кора древесная	55	360	7,3	0,60	1742
5	Мазут (для сравнения)	–	1015	39,78	9,64	9450

Особый вид древесного топлива представляют специальные гранулы. Несмотря на высокую стоимость число пользователей, в Швеции и Финляндии сегодня насчитывается свыше 8000 хозяйств. Рыночные аналитики предсказывают, что их число будет быстро расти, и на этом топливе будет вырабатываться 20...25 МВт·ч. теплоты, т.е. гранулы – топливо будущего [5 – 7].

Заключение.

Широкомасштабное использование древесного топлива – комплексная программа, требующая создания новой отрасли по производству биотоплива, сложной инфраструктуры, обеспечивающей производство, транспортировку, использование древесного топлива. Чтобы работа этой отрасли была рентабельной, необходимо ее техническое, технологическое и ресурсное обеспечение. В связи с увеличением спроса на энергию и истощением запасов обычных и ископаемых видов топлива были начаты поиски альтернативного надежного и доступного топлива. Биомасса является возобновляемым и эффективным источником, что очень полезно для преодоления ситуации энергетического кризиса. Это перспективное топливо достаточно эффективно, чтобы применять его в малых и средних промышленных масштабах.

Библиографический список

1. Никишов, В.Д. Комплексное использование древесины. /В.Д. Никишов. – Москва: Лес. пром-сть, 1985. – 264 с.
2. Передерий, С. Щепа как твердое биотопливо в Европе. / С. Передерий // ЛесПромИнформ. – 2010. - №5. – с. 132-135.
3. Иванова, И.В. Анализ методов термической переработки биомассы в газогенераторных установках / И.В. Иванова, А.А. Куликов, М.М. Иванов, В.А. Прохоров // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021.– 612 с. – С. 171-179.
4. 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.

5. Васильев, Ю.С. Развитие энергетического сектора и биоэнергетики на Северо-Западе России / Ю.С. Васильев, В.В. Елистратов, Г.И. Сидоренко // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. – 2008. - №1-2. – с.74-86.
6. ГОСТ 54220-2010 Биотопливо твердое. Технические характеристики и классы топлива. Ч. 1. Общие требования. – Москва: Стандартинформ, 2010. – 42 с.
7. Бухтияров, А.А. Газификация биомассы для производства электроэнергии / А.А. Бухтияров // научный журнал «Эпомен», №26. – Самара: СГТУ, 2019. – С. 69 – 73.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова Ирена Викторовна
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 древесной биомассы как альтернативного источника энергии. Дана оценка теплотехническим характеристикам и перспективам его использования в народном хозяйстве.

Ключевые слова: биотоплива, древесная биомасса, древесные опилки, древесная щепа, древесные отходы.

УДК 662.6

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.09.37

Перспективы развития теплоэнергетики на современном этапе

Иванов М.М., Снежков В.А.

Введение

Чтобы получить энергию, необходимо затратить энергетические ресурсы, под которыми понимают все природные источники энергии, которые можно превращать в используемую энергию. При этом энергия – это количественная оценка различных форм движения материи, которые могут превращаться друг в друга, – условно подразделяется по видам: химическая, механическая, электрическая, ядерная и т.д. Существует много форм энергии, которые использует человек, обеспечивая свою жизнедеятельность. При этом существует возможность различного преобразования одних форм энергии в другие. Энергетика в широком смысле есть совокупность естественных и искусственных систем, предназначенных для получения, преобразования, распределения и использования энергетических ресурсов.

Из большого разнообразия ресурсов, встречающихся в природе, выделяют основные, используемые в больших количествах для практических нужд. К основным энергоресурсам относят: энергию рек, водопадов, различные

органические топлива, такие, как уголь, нефть, газ; ядерное топливо – тяжелые элементы урана и тория, в перспективе – легкие элементы и т.д. Энергоресурсы разделяют на: возобновляемые и невозобновляемые. К первым относятся те, которые природа непрерывно восстанавливает (гидроэнергия, энергия солнца, ветра, геотермальная энергия и т. д.). Ко вторым – ранее накопленные в природе, но в новых геологические условиях практически не образующиеся (например, каменный и бурый уголь, нефть, природный газ, горючие сланцы, торф, современное ядерное топливо и т. д.). С течением времени круг используемых энергоресурсов расширяется.

Пока человечество широко использует только энергию химических горючих, при этом органического происхождения, запасы которых составляют всего доли процента всех ресурсов энергии на Земле (табл. 1) [1].

Таблица 1. Ориентировочные мировые запасы основных органических горючих топлив

Виды горючего	Разведанные		Извлекаемые	
	млрд. т.у.т.	%	млрд. т.у.т.	%
Всего	12 800	100	3800	100
уголь	11 200	87,4	2900	76
нефть	740	5,8	370	9,7
газ природный	630	4,9	500	13,3
прочие	230	≈1,9	30	≈1,0

В настоящее время «экономическая целесообразность извлечения» определяется стоимостью и возросшими потребностями в энергоресурсах. В результате нефтяные вышки уходят все дальше в море, хотя себестоимость нефти возросла втрое. Надежным критерием целесообразности извлечения может быть лишь отношение энергоемкости извлекаемого источника энергии (ИЭ) к количеству затраченной энергии, которое должно быть больше единицы.

Оценить природные ресурсы делящегося ядерного топлива очень сложно. Число первичных ядерных топлив ограничено двумя: ураном и торием. Залежи этих элементов в земной коре и содержание в водах Мирового океана чрезвычайно рассредоточены и малоконцентрированы.

Практическая ценность энергетических ресурсов определяется тремя критериями:

- концентрацией энергии в единице массы вещества (энергоемкостью);
- стоимостью добычи и транспортировки;
- влиянием технологии на использования ресурсов на окружающую среду.

В настоящее время наибольшей концентрацией энергии обладает ядерное и термоядерное топливо. Концентрация энергии в органическом топливе (нефть, газ и уголь) примерно в 3 млн. раз меньше, чем в ядерном, и поэтому транспортировка органического топлива имеет большое значение для эффективности использования.

В экологическом отношении наибольшей чистотой обладают возобновляемые ресурсы. При их использовании отсутствуют какие-либо вредные выбросы в окружающую природную среду, хотя и имеются некоторые другие виды воздействия.

Суммарные инвестиции в поиски альтернативной энергии, энергии 2.0, за последние годы превысили 100 миллиардов долларов. И это далеко не предел. Инвесторы уверены, что энергетическая революция вот-вот наступит. Термин «Energy 2.0» впервые был использован 8 марта 2006 года, ученым Массачусетского технологического института Нолом Брауном. Он писал, что по аналогии с новым бесплатным поколением Интернета, который все теперь называют Web 2.0, новую энергию, не загрязняющую окружающую среду, можно назвать «Энергией 2.0». В массовом сознании термин «Энергия 2.0» начал укрепляться после февральского доклада ООН о глобальном потеплении «Изменения климата-2007». Благодаря чему стало понятно, что спокойной жизни у производителей углеводородного топлива (то есть энергии 1.0) больше не будет. И не потому, что нефть, газ и уголь скоро кончатся, как боялись раньше, а потому, что именно они назначены виновными в таянии снегов Гренландии и антарктического льда. Около 2500 ученых из 130 стран мира, ставшие авторами этого документа, заявили: если сейчас не уменьшить вредные выбросы в атмосферу, к 2100 году уровень Мирового океана поднимется на 18 сантиметров и под водой окажутся целые государства, не говоря уже о таких «низких» городах, как Шанхай, Буэнос-Айрес и Венеция [2].

Впрочем, поиски новой энергии, возможно, не столько чистой, сколько более дешевой, в мире начались давно. В эти разработки уже вложены миллиардные инвестиции (например, в 2005 году общемировые инвестиции в чистую энергию составили \$38 млрд.). И чем дальше, тем сильнее ощущение, что мир находится на пороге глобальной энергетической революции, которая вот-вот наступит и похоронит все словосочетания типа «выжать каплю» или «сесть на трубу».

Водород – одна из главных энергетических надежд человечества. Водородом хотят заменить уран в ядерных реакторах и бензин в двигателях внутреннего сгорания [2].

Такое отношение ученых к водороду объясняется просто: при водородной термоядерной реакции выделяется в 100 раз больше тепла, чем при расщеплении урана, а сам водородный реактор значительно безопаснее обычного. Ну и при сгорании в автомобильном двигателе водород превращается в воду и никаких выхлопов.

Однако не все так просто. Во-первых, создать полноценный водородный реактор ученым до сих пор не удается. Во-вторых, хоть автомобильный

водородный двигатель создали уже несколько компаний (самые известные разработки — у BMW и Mazda), в свободной продаже легковых водородных автомобилей до сих пор нет. Основная проблема – они очень пожароопасные. Если при аварии разрушается бак с жидким водородом, вероятность возгорания очень высока, ведь именно смесь водорода и кислорода называется гремучей. Еще водород применяется при создании особо мощных топливных элементов. Такие батарейки логично было бы устанавливать в автомобили. Но и здесь не все еще продумано до конца: во-первых, эти батареи очень громоздкие, а во-вторых, стоят столько, что делают электрокары абсолютно не конкурентоспособными.

Заключение.

В настоящее время в теплоэнергетике назрела необходимость использования экологических взглядов и методов исследования, а в некоторых случаях постановки новых задач исследования воздействия теплоты (с учетом её техногенного происхождения) на окружающую среду. В этой связи заслуживает внимания вопрос об экологической чистоте тепловых процессов, машин и т.д.

Библиографический список

1. Безруких, П.П. Справочник по ресурсам возобновляемых источников энергии России и местным видам топлива (показатель по территориям) / Под ред. П.П. Безруких. – Москва: ИАЦ «Энергия», 2007. – 270 с.
2. Перспективы развития ВИЭ в России. Программа Европейского проекта TACIS для Российской Федерации. – Москва: Изд - во «Атмограф», 2009. – 455 с.

Сведения об авторах

ФИО	Иванов Михаил Михайлович
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	Снежков Владислав Алексеевич
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	pantov.kep@mail.ru

Аннотация

Продолжается неуклонное увеличение потребления всех видов энергоресурсов. По прогнозам, доля потребления нефти будет снижаться в ближайшие годы, но будет расти потребление угля и газа. Интенсивно идут поиски возобновляемых источников энергии (биомасса, водород, спирты, эфиры

и т.п.) и альтернативных топлив. Естественно, перемены, происходящие в мире и связанные с возрастанием потребления энергии, требуют обеспечения её сбережения, создания методов и средств защиты окружающей среды.

Ключевые слова: энергия, энергетические ресурсы, энергия 2,0, водород.

УДК 62.622

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.99

Передача теплоты в промежуточных сепараторах-пароперегревателях

Егоров М.Ю.

Введение

В настоящее время в России и за рубежом эксплуатируется множество АЭС. В турбинах насыщенного пара на выходе из цилиндра высокого давления (ЦВД) пар имеет влажность 10–15%. Влажность пара отрицательно сказывается на эффективности установки в целом. В цилиндре низкого давления (ЦНД) лопатки подвергаются эрозии под воздействием влаги, содержащейся в пароводяной смеси. Задачей увеличения надежности турбины и длительности ее межремонтного периода занимаются более 50 лет.

Одним из способов снизить влагосодержание пара является промежуточная сепарация пара с последующим перегревом отсепарированного пара в комбинированных аппаратах — сепараторах-пароперегревателях (СПП). Острый пар поступает в ЦВД и, после расширения в нем, через раздающую камеру попадает в сепарационное устройство СПП. В нем влага отделяется от пара, влага (сепарат) направляется в сепаратосборник. Осушенный пар поступает в пароперегреватель, где проходит первую и вторую ступень перегрева. Греющий пар (первый отбор турбины) первой ступени и острый пар второй ступени перегрева отдаёт теплоту перегреваемому пару и конденсируется. Конденсат отводится в конденсатосборники. Перегретый пар, прошедший вторую ступень, через центральную трубу поступает в ЦНД турбины.

Цель работы – анализ процесса теплопередачи в перегревательной части СПП.

Методы исследования.

В работе исследован теплообмен в конструкции перегревателя змеевикового типа, перспективного для модернизации существующих и для создания новых СПП [1]. Расчётная модель описывает процесс передачи тепла в приближении поперечного обтекания перегреваемым паром одиночной трубки, внутри которой конденсируется греющий пар. Методика исследования основана на решении системы уравнений:

$$\text{уравнение теплового баланса:} \quad Q_{\text{гп}} = Q_{\text{нп}}, \quad (1)$$

где $Q_{гп}$ – тепловой поток, подведенный греющей средой, Вт; $Q_{нп}$ – тепловой поток, отведенный нагреваемой средой, Вт.

$$\text{уравнение теплопередачи:} \quad Q = H_{\text{расч}} \cdot k \cdot \Delta t \quad (2)$$

где Q – тепловой поток через поверхность теплообмена, Вт; $H_{\text{расч}}$ – расчетная поверхность теплообмена, м²; k – средний коэффициент теплопередачи, Вт/(м·К); Δt – температурный напор, К.

Результаты исследования.

Исходные данные соответствуют номинальному режиму работы аппаратов СПП на Ленинградской АЭС-1 [2]:

давление нагреваемого пара на входе в перегреватель	$p_{\text{нп вх 1}} = 0,335 \text{ МПа};$
температура нагреваемого пара на входе в I ступень	$t_{\text{нп вх 1}} = 137^\circ\text{C};$
температура нагреваемого пара на входе во II ступень	$t_{\text{нп вх 2}} = 197^\circ\text{C};$
температура нагреваемого пара на выходе из II ступени	$t_{\text{нп вых 2}} = 265^\circ\text{C};$
температура греющего пара на входе в I ступень	$t_{\text{гп вх 1}} = 210^\circ\text{C};$
температура греющего пара на входе во II ступень	$t_{\text{гп вх 2}} = 278^\circ\text{C};$
температура греющего пара на выходе из I ступени	$t_{\text{гп вых 1}} = 206^\circ\text{C};$
температура греющего пара на выходе из II ступени	$t_{\text{гп вых 2}} = 275^\circ\text{C}.$

Для анализа теплопередачи определён режим течения нагреваемой среды по критерию Рейнольдса:

$$Re = \frac{\omega_{\text{нп расч}} \cdot d}{\nu_{\text{нп ср}}} \quad (3)$$

где $\nu_{\text{нп ср}}$ – коэффициент кинематической вязкости пара при средних температуре и давлении в ступени, м²/с; $\omega_{\text{нп расч}}$ – расчетная скорость нагреваемого пара, м/с; d – наружный диаметр трубки.

Далее индексами 1 и 2 обозначены параметры для первой и второй ступени.

Средняя по ступени температура нагреваемого пара:

$$t_{\text{нп ср}} = 0,5 \cdot (t_{\text{нп вх}} + t_{\text{нп вых}}) \quad (4)$$

$$t_{\text{нп ср 1}} = 167^\circ\text{C}$$

$$t_{\text{нп ср 2}} = 231^\circ\text{C}$$

Среднее по ступени давление нагреваемого пара:

$$p_{\text{нп ср}} = 0,5 \cdot (p_{\text{нп вх}} + p_{\text{нп вых}}) \quad (5)$$

$$p_{\text{нп ср 1}} = 0,331 \text{ МПа}$$

$$p_{\text{нп ср 2}} = 0,322 \text{ МПа}$$

Коэффициент кинематической вязкости пара при средних температуре и давлении определялся по таблицам термодинамических свойств воды и водяного пара:

$$\nu_{\text{нп ср 1}} = 8,8 \cdot 10^{-6} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

$$\nu_{\text{нп ср 2}} = 1,3 \cdot 10^{-5} \frac{\text{м}^2}{\text{с}}$$

Расчетные скорости нагреваемого пара:

$$\omega_{\text{нп расч 1}} = 24 \frac{\text{м}}{\text{с}} \qquad \omega_{\text{нп расч 2}} = 40 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

соответствуют турбулентному режиму течения с критериями Рейнольдса:

$$Re_1 = 4,9 \cdot 10^4 \qquad Re_2 = 5,7 \cdot 10^4$$

В таких условиях ($Re = 10^3 - 2 \cdot 10^5$) безразмерный коэффициент теплоотдачи нагреваемого определяется в виде степенной зависимости от критериев Рейнольдса и Прандтля [3]:

$$Nu_d = 0,25 \cdot Re^{0,6} \cdot Pr^{0,38} \qquad (6)$$

Критерий подобия Прандтля:

$$Pr_1 = 1,01 \qquad Pr_2 = 0,97$$

Тогда значения числа Нуссельта будут равны:

$$Nu_{d1} = 164 \qquad Nu_{d2} = 176$$

Коэффициент теплоотдачи нагреваемого пара $\alpha_{\text{нп}}$ равен:

$$\alpha_{\text{нп}} = \frac{Nu \cdot \lambda_{\text{ср}}}{d_1} \qquad (7)$$

где $\lambda_{\text{ср}}$ — коэффициент теплопроводности пара при средних значениях температуры и давления:

$$\lambda_{\text{ср 1}} = 3,1 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})} \qquad \lambda_{\text{ср 2}} = 3,7 \cdot 10^{-2} \frac{\text{Вт}}{(\text{м} \cdot \text{К})}$$

Подставляя все найденные величины в формулу 7, получим:

$$\alpha_{\text{нп1}} = 282 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})} \qquad \alpha_{\text{нп2}} = 362 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

Коэффициент теплоотдачи при конденсации греющей среды в трубке $d_2 = 0,0152$ м определен по зависимости работы [4] для случая конденсации пара в стальных трубах с внутренним диаметром $d_2 = (10-35) \cdot 10^{-3}$ м:

$$\alpha_{\text{гп1}} = 10^4 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})} \qquad \alpha_{\text{гп2}} = 1,5 \cdot 10^4 \frac{\text{Вт}}{(\text{м}^2 \cdot \text{К})}$$

Средняя температура стенки определена как:

$$t_{\text{ст}} = \frac{(\alpha_{\text{нп}} \cdot t_{\text{нп ср}} + \alpha_{\text{гп}} \cdot t_{\text{гп}})}{(\alpha_{\text{нп}} + \alpha_{\text{гп}})} \qquad (8)$$

$$t_{\text{ст1}} = 206^\circ\text{C} \qquad t_{\text{ст2}} = 276^\circ\text{C}$$

Для указанных температур коэффициент теплопроводности стали будет равен: $\lambda_{\text{ст}} = 18 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot \text{К})$.

Расчетные значения коэффициента теплопередачи k составили:

$$k = \left[\frac{1}{\alpha_{\text{нп}}} + \frac{\ln \left(\frac{d_1}{d_2} \right) \cdot d_1}{2\lambda_{\text{ст}}} + \frac{d_1}{\alpha_{\text{гп}} \cdot d_2} \right]^{-1} \qquad (9)$$

$$k = 267 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

$$k = 342 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$$

Выводы.

1. В работе исследован процесс теплообмена в промежуточных сепараторах-пароперегревателях влажнопаровых турбин ядерных энергетических установок.

2. Анализ структуры коэффициента теплопередачи показал, что на его величину определяющее влияние оказывает интенсивность теплоотдачи нагреваемого пара.

3. В дальнейшем планируется рассмотрение процесса теплопередачи в трубных пучках, что является более сложной термодинамической задачей, также выполнить гидравлический расчет пучка труб.

Библиографический список

1. Готовский М.А., Егоров М.Ю., Федорович Е.Д. О перспективе применения винтовых змеевиков с конденсацией греющего пара внутри труб в пароперегревательной части промежуточных сепараторов-пароперегревателей турбин АЭС. Сборник тезисов докладов Пятой международной конференции «Тепломассообмен и гидродинамика в закрученных потоках». Казань, 2015. С. 162–163.
2. Егоров М.Ю. Разработка рекомендаций по повышению эффективности теплогидравлических процессов в сепараторах-пароперегревателях турбин АЭС на основе изучения опыта эксплуатации: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. 2015. 18 с.
3. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник для вузов – 4-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоиздат, 1981. 416 с.
4. Волков Д.И. Теплоотдача при конденсации пара внутри горизонтальной трубы. Энергомашиностроение. 1969. №6. С. 22–24
5. Денисов К.Н., Егоров М.Ю., Федорович Е.Д., Готовский М.А. Совершенствование конструкций СПП АЭС на основе результатов теоретических и стендовых исследований и опыта эксплуатации. Труды шестой российской национальной конференции по теплообмену. 2014. С. 152-155.
6. Легкоступова В.В., Судаков А.В. Расчетный анализ распределения двухфазного потока в СПП для АЭС с реакторами РБМК. Неделя науки СПбПУ. Материалы научного форума с международным участием. Институт энергетики и транспортных систем. 2015. С. 102-104.
7. Legkostupova V.V., Sudakov A.V. Upgrading the SPP-500-1 moisture separators–steam reheaters used in the Leningrad NPP turbine units. Thermal Engineering. 2015. Т. 62. № 3. С. 171-176.

Сведения об авторах

ФИО	Егоров Михаил Юрьевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7771-4892
e-mail	mikhail.yu.egorov@gmail.com

Аннотация

Рассмотрены теплогидравлические процессы в промежуточных сепараторах-пароперегревателях влажнопаровых турбин атомных электрических станций России на основе длительного опыта эксплуатации на энергоблоках с реакторами большой мощности канального типа. Выполнен

критериальный анализ процесса передачи теплоты в пароперегревателях. Даны рекомендации о перспективности использования конструктивных решений.

Ключевые слова: ядерные энергетические установки, системы промежуточной сепарации и перегрева пара, теплопередача; nuclear power plants, moisture separation and steam superheating systems, heat transfer.

УДК 621.311.25

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.35

Теплонасосные установки для теплоснабжения жилых помещений

Егоров М.Ю.

Снижение расходов на отопление и горячее водоснабжение становится все более значимым в условиях постоянного роста цен на энергоносители в последние десятилетия. Рост стоимости тепловой энергии, последствия сжигания органического топлива, возрастающая потребность в тепловой энергии жилищно-коммунального хозяйства, повышающиеся требования по обеспечению экологичности технологических процессов и охраны окружающей среды приводят к более широкому использованию энергосберегающего оборудования – тепловых насосов [1].

Тепловой насос – устройство, реализующее перенос низкотемпературной теплоты, не пригодной для прямого использования, на высокотемпературный уровень.

Из низкопотенциальной теплоты:

- возобновляемой теплоты грунтовых и поверхностных вод,
- грунта,
- атмосферного воздуха,
- сбросной теплоты технологических процессов промышленных производств,
- сточных вод биологических и очистных сооружений
вырабатывается высокопотенциальная теплота.

Системы теплоснабжения на традиционных источниках энергии требуют с каждым годом все возрастающих затрат. Основной их недостаток – низкая энергетическая и экономическая эффективность.

Цель работы – разработка концептуальной схемы отопления жилого здания, общей площадью 350 м², с помощью теплового насоса.

Методы исследования.

1. Анализ отечественного и зарубежного опыта использования теплонасосных систем.

2. Расчет тепловых потерь на примере конкретного объекта.

3. Сопоставить особенности работы различных видов тепловых насосов и определить оптимальные характеристики установки для заданного объекта.

Результаты исследования.

Расчёт тепловых потерь здания. На основании проектной документации выполнен расчёт тепловых потерь в соответствии с [2]. Для каждого типа ограждающих конструкций, таких как: крыша, перекрытия, внутренние и наружные стены, окна, двери и т.д., определялись коэффициенты теплопередачи:

$$K = \left(\sum_i d_i / \lambda_i \right)^{-1}, \quad (1)$$

где d_i – толщина компонента ограждающей конструкции; λ_i – коэффициент теплопроводности компонента, Вт/(м·К).

Далее для каждого помещения были определены тепловые мощности, необходимые для компенсации потерь теплоты через ограждающие конструкции и потерь теплоты, связанных с вентиляцией помещений:

$$N = N_{\text{ОГРАЖД}} + N_{\text{ВЕНТ}}, \quad (2)$$

$$N_{\text{ОГРАЖД}} = \sum_j K_j \cdot \Delta T \cdot S_j, \quad (3)$$

где $\Delta T = t_{\text{ВН}} - t_{\text{УЛ}}$ – разность между температурой воздуха в помещении и температурой наружного воздуха; S_j – площадь ограждающей конструкции помещения, м².

Общие расчётные тепловые потери составили ~12 кВт, удельные потери ~40 Вт/м².

Анализ российского и мирового теплонасосного оборудования. К 1997 г. в мире функционировало около 90 млн. тепловых насосов: 63 % – Япония, 15 % – США, 11 % – Китай и 5 % – Европа (без России и стран СНГ).

Наиболее распространены тепловые насосы типа «воздух–воздух», совмещающие функции отопления с охлаждением в тёплое время года.

В России с середины 1990-х годов эксплуатируются единичные теплонасосные установки:

- система горячего водоснабжения многоэтажного жилого дома в Никулино-2 (Москва) [3],
- отопление офисного здания, коттеджного поселка и здания администрации на базе теплонасосной установки Подмосковья, использующих низкопотенциальную тепловую энергию земли [4] и др.

В работе выполнен подбор, анализ и систематизация зарубежного [5–7] и отечественного [3, 4] опыта создания и использования теплонасосных установок. Наблюдается рост эффективности тепловых насосов, характеризуемый коэффициентом преобразования:

$$COP = N / L_{\text{затр}}, \quad (4)$$

где N – тепловая мощность, выработанная тепловым насосом; $L_{\text{затр}}$ – электрическая мощность, затраченная на работу теплового насоса.

По данным Шведского технического исследовательского института [6], COP воздушных тепловых насосов при характерном для стран с холодным климатом перепаде наружной и внутренней температур (+2/+20°C) достигает 3...4 и более.

Установлено, что средний COP современных геотермальных тепловых насосов составляет 3,5...4,5. Для дальнейших расчётов геотермальных теплонасосных установок был принят $COP=4$.

Выбор источника теплоты. Возобновляемый источник должен иметь благоприятные теплофизические характеристики и низкие эксплуатационные расходы.

В работе рассмотрены:

- наружный и отводимый из помещений воздух,
- грунтовые воды,
- вода (озёрная, речная, морская),
- почва (грунт),
- геотермальные источники.

1. Тепловой насос, использующий наружный воздух, менее эффективен по сравнению с тепловым насосом «вода – вода» ввиду:

- снижения мощности и производительности с падением наружной температуры;
- относительно больших разностей температур конденсации и испарения в период минимальных зимних температур;
- дополнительных затрат энергии на размораживание обдуваемого воздухом испарителя.

Тепловые насосы могут регенерировать теплоту из отводимого вентиляционного воздуха для отопления. Для этого необходимо постоянное вентилирование помещения в течение всего отопительного периода.

2. Тепловые насосы могут использовать теплоту грунтовых вод, открытых водоемов или технологической воды. Грунтовые воды имеют стабильные температуры 7...12°C в течение года. В водозаборной скважине устанавливается насос, подающий воду в испаритель теплового насоса, охлажденная вода возвращается через водоприёмную скважину.

Грунтовые воды могут находиться на различной, в том числе на значительной, глубине.

3. Грунт имеет стабильную температуру. Теплота отбирается с помощью теплообменников – труб, уложенных горизонтально или вертикально (зонды) в землю. В горизонтальных теплообменниках забор теплоты осуществляют по системе полиэтиленовых труб, проложенной в грунте ниже его точки замерзания.

Теплоноситель циркулирует по трубам, забирая накопленную грунтом теплоту, и подается в испаритель теплового насоса, в котором отдает её. Зонды в форме U-образной трубы устанавливают в скважине.

Определение параметров источника теплоты рассмотрим на примере зондов.

Расчёт вертикального зонда. Влияние на интенсивность теплообмена в грунте оказывают его: температура, плотность, теплопроводность, температуропроводность и влажность.

Для различных грунтов удельный тепловой поток $q_{\text{грунт}}$ оценивается на уровне от 20 Вт/м (с метра зонда) для сухого песчаного грунта до 80 Вт/м для водоносных слоёв и более. Нами изучены результаты работ отечественных [3, 8] и зарубежных [9] авторов. Интенсивность теплообмена в грунте также определяется характеристиками теплонасосной установки. Задача расчёта усложняется тем, что в грунте происходит нестационарный теплообмен. В частности, ранее установлено влияние радиуса трубы вертикального грунтового теплообменника на эффективность работы геотермальной теплонасосной установки с длиной зондов 40 метров, см. Таблицу.

Таблица. Влияние радиуса трубы зонда на годовое потребление электроэнергии.

Радиус трубы термоскважины, м	Суммарное энергопотребление, кВт·ч/год
0,050	9000
0,075	8870
0,100	8810
0,125	8780
0,150	8760
0,175	8740
0,200	8720

Исследования геологии грунтов показали, что на объекте имеют место породы супесей серых с гравием и валунами, сине-серые глины. Средняя производительность пород оценена на уровне 35–40 Вт/м по имеющимся в литературе [3, 5] рекомендациям.

Согласно уравнению теплового баланса:

$$N = N_{\text{низк}} + L_{\text{затр}}, \quad L_{\text{затр}} = N / \text{COP}, \quad L_{\text{затр}} = 12/4 = 3, \quad N_{\text{низк}} = 12 - 3 = 9 \text{ кВт},$$

где $N_{\text{низк}}$ – низкопотенциальная мощность, полученная тепловым насосом.

Оценка минимальной длины зонда составляет 250 м (обе трубы U-образного зонда по 250 м).

Выводы.

1. В работе проанализирован российский и мировой опыт создания и эксплуатации теплонасосных установок.

2. На примере жилого здания разработаны принципы теплоснабжения с помощью теплонасосной установки.

3. Запланировано проведение дальнейших работ по оценке сроков окупаемости теплонасосных установок, а также исследование других типов теплонасосных установок и совершенствование методик расчёта

Библиографический список

1. Тоимбаев А.Б., Ермоленко М.В., Степанова О.А. Эффективность работы теплового насоса при различных режимах. Молодой ученый. 2014. №6.
2. СП50.13330.2012. Тепловая защита зданий. Актуализированн. ред-я СНиП 23-02-2003.
3. Васильев Г.П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоёв Земли. М.: Граница. 2006.
4. Шилкин Н.В. Опыт реализации системы отопления на базе теплонасосных установок в коттеджном посёлке. АВОК. 2010. № 2.
5. www.sverinfo.se (Шведская Ассоциация Тепловых Насосов (SVEP))
6. Axell M. Vaermepumpar forsta valet for husagare i Sverige och Schweiz. Nordiske Varme pumpedager, Oslo, 4–5 Juin, 2009.
7. Перяла Р. Тепловые насосы. СПб, Алфамер Паблишинг, 2011.
8. Чудновский А.Ф. Физика теплообмена в почве. Л–М: ГИТТЛ, 1948.
9. Kavanaugh S.P, Rafferty K. Ground-Source Heat Pumps: Design of Geothermal Systems for Commercial and Institutional Buildings. ASHRAE, 1997.

Сведения об авторах

ФИО	Егоров Михаил Юрьевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7771-4892
e-mail	mikhail.yu.egorov@gmail.com

Аннотация

В статье выполнен анализ отечественного и мирового опыта проектирования и реализации теплоэнергетических систем и установок на основе теплонасосной технологии. Для конкретного объекта в Северо-Западном федеральном округе разработана концепция отопления, горячего водоснабжения и кондиционирования с помощью теплонасосной установки. Определены теплотехнические параметры низкопотенциального контура на основе геотермальных зондов с учетом геологических особенностей грунтов.

Ключевые слова: теплонасосные установки, коэффициент преобразование, геотермальные и воздушные тепловые насосы; heat pump installations, conversion coefficient, geothermal and air heat pumps.

УДК 621.577

Контроль вредных выбросов при работе котельных и ТЭС

Федяев Ал.А.

Введение

В настоящее время большое внимание во всем мире уделяется проблемам экологии. Существенную долю в загрязнение окружающей среды вносит энергетическая отрасль. Работа котельных и ТЭС оказывает негативное воздействие на окружающую среду (рисунок), которое проявляется в изъятии земель, потреблении ископаемого топлива и пресной воды, складировании золошлаковых отходов, в токсичных выбросах в атмосферу и водный бассейн и др. [1, 5].

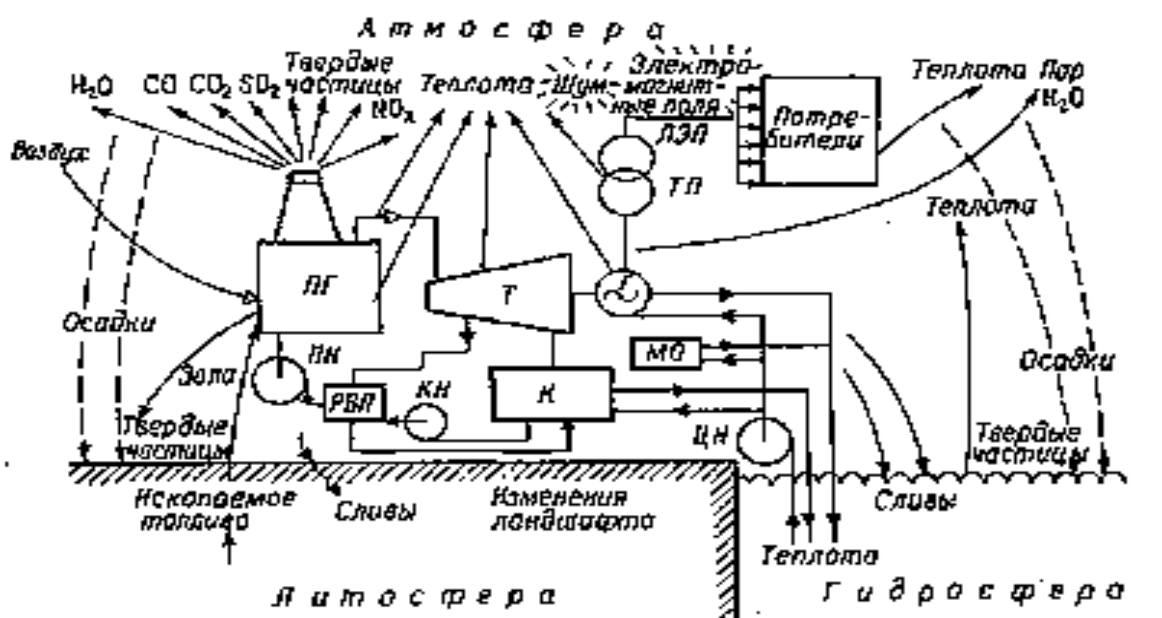


Рисунок. Схема взаимодействия ТЭС и окружающей среды:

- ПГ – парогенератор; Т – турбина; К – конденсатор, КН – конденсатный насос;
- РВП – регенеративный водоподогреватель; ПН – питательный насос;
- ЦН – циркуляционный насос; МО – маслоохладители; Г – электрогенератор;
- ТП – трансформаторная подстанция; ЛЭП – линия электропередачи

Основными компонентами выбросов в атмосферу при сжигании всех видов топлива являются нетоксичные диоксид углерода CO_2 и водяной пар H_2O , оказывающие неблагоприятное воздействие на климат вследствие создания парникового эффекта [3]. Кроме них в атмосферу поступают и токсичные вещества, отрицательно влияющие на здоровье человека и животных. К ним относятся: оксиды серы (SO_2 и SO_3), оксиды азота (NO и NO_2), моноксид углерода (CO), соединения ванадия (в основном V_2O_5), зола и частицы несгоревшего твердого топлива, сажа, углеводороды, в том числе канцерогенный

бенз(а)пирен $C_{20}H_{12}$, и ряд других. В зависимости от вида сжигаемого топлива спектр выбрасываемых в атмосферу токсичных веществ различается.

При сжигании твердых топлив в котлах образуются: значительное количество золы, диоксида серы и оксидов азота (в основном NO); газообразные и твердые продукты неполного сгорания. Дымовые газы мазутных котлов содержат оксиды азота, оксиды серы, соединения ванадия, сажу и другие твердые частицы. При полном сжигании природного газа в атмосферу выбрасываются только оксиды азота.

Допустимые уровни загрязнения атмосферного воздуха определяют исходя из условия недопущения вредного влияния на человека и окружающую среду [2]. В качестве норматива, ограничивающего содержание загрязняющих веществ в атмосферном воздухе, принята предельно допустимая концентрация (ПДК). Согласно СН 3086-84, ПДК – это такая концентрация загрязняющего вещества, при воздействии которой на организм человека периодически или в течение всей жизни, прямо или опосредованно не возникает заболеваний или изменений состояния здоровья и наследственных изменений у потомства. В настоящее время для санитарной оценки степени загрязнения воздушной среды определены следующие виды ПДК:

- предельно допустимая концентрация вредного вещества в воздухе рабочей зоны (ПДКр.з, мг/м³) – это концентрация, не вызывающая у работающих людей при ежедневном вдыхании в пределах 8 ч в течение всего рабочего стажа заболеваний или отклонений в состоянии здоровья (согласно санитарным нормам СН 245-71 рабочей зоной считается пространство высотой до 2 м над уровнем пола или площадки, на которой находятся места постоянного или временного пребывания рабочих);
- предельно допустимая среднесуточная концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест (ПДКс.с., мг/м³) – это концентрация, не оказывающая на человека прямого или косвенного вредного воздействия в условиях неопределенно долгого круглосуточного вдыхания;
- предельно допустимая максимально разовая концентрация вредного вещества в воздухе населенных мест (ПДКм.р., мг/м³) – это концентрация, не вызывающая рефлекторных реакций в организме человека. Основными нормами являются среднесуточные ПДК, максимально разовые ПДК устанавливаются в дополнение к среднесуточным для веществ, обладающих запахом или раздражающим воздействием. Максимально разовую концентрацию определяют при отборе проб воздуха в течение 20 мин, среднесуточную – в течение суток.

При контроле загрязнения атмосферы оценивается экологический ущерб, при работе котельных и ТЭС.

Экологический ущерб окружающей природной среды – это фактические экологические, экономические или социальные потери, которые возникают в результате нарушения природоохранного законодательства, хозяйственной деятельности человека, стихийных экологических бедствий, катастроф. Ущерб выражается в виде потерь природных, трудовых, материальных, финансовых ресурсов в народном хозяйстве, в том числе и ухудшения социально гигиенических условий проживания населения.

Предотвращенный экологический ущерб от выбросов загрязняющих веществ в атмосферу представляет собой оценку в денежной форме возможных отрицательных последствий, которые в данный период времени удалось избежать в результате деятельности природоохранных органов, проведения комплексов воздухоохраных мероприятий, реализации программ по охране окружающей среды.

Для определения величины предотвращенного ущерба используются усредненные расчётные значения экономической оценки ущерба [4] на единицу приведённой массы атмосферных загрязнений для основных экономических районов Российской Федерации.

Экономический ущерб, наносимый выбросами вредных веществ в атмосферу, рассчитывается по формуле:

$$Y_{ПРГ}^a = K_{\mathcal{E}}^a \cdot K_1^a \cdot K_2^a \cdot K_{инд} \cdot \sum_{i=1}^n M_i^0 \cdot H_i^a, \quad (1)$$

где M_i^0 – масса годового выброса загрязняющего вещества в атмосферный воздух, т/г; $K_{\mathcal{E}}^a = 1,4$ – коэффициент экологической ситуации и экологической значимости состояния атмосферного воздуха территории экономических районов России, определяется в соответствии с нормативами; $K_1^a = 1,2$ – коэффициент, учитывающий плотность населения, при размещении отходов на специализированных полигонах и промышленных площадках; $K_2^a = 2$ – коэффициент, учитывающий особенности территории; $K_{инд} = 2,15$ – коэффициент индексации (учитывает инфляцию); H_i^a – нормативная плата за выброс загрязняющего вещества в атмосферу, руб.

Заключение. С помощью приведенной расчетной методики можно определить вид топлива, сжигаемого на ТЭС, экономический ущерб которого наименьший. Последнее свидетельствует о том, что для данного вида топлива также будут и минимизированы выбросы в атмосферную среду, что также однозначно свидетельствует и наиболее выгодном его использовании.

Библиографический список

1. Скалкин, Ф.В. Энергетика и окружающая среда / Ф.В. Скалкин, А.А. Канаев, И.З. Кошп. – Л.: Энергоиздат, Ленинградское отделение, 1981. – 280 с.

2. Контроль вредных выбросов ТЭС в атмосферу: учебное пособие / П.В. Росляков, И.Л. Ионкин, И.А. Закиров и др.; под ред. П.В. Рослякова. – М.: Изд-во МЭИ, 2004. – 228 с.
3. Методика определения валовых выбросов загрязняющих веществ в атмосферу от котельных установок ТЭС РД 34.02.305-98 – М.: АООТ ВТИ, 1998.
4. Методика определения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу при сжигании топлива в котлах производительностью менее 30 тонн пара в час или менее 20 Гкал в час. – М.: НИИАтмосфера, АООТ ВТИ, 1999.
5. Энергетическое топливо СССР: справочник. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	vends1@mail.ru

Аннотация

В работе представлено описание наиболее токсичных вредных выбросов при сжигании различных видов твердого топлива. Представлены зависимости для определения наименьшего экономического ущерба при сжигании рассматриваемых видов топлива, с целью дальнейшего анализа полученных результатов и выбора наиболее рационального из исследуемых.

Ключевые слова: вредные вещества, сжигание, твердое топливо, предельно допустимая концентрация, экологический ущерб.

УДК 621.18

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 62.35.33

Повышение энергетической эффективности электродных водогрейных котлов

Федяев Ал.А.

Введение

Нерациональное использование энергоресурсов, сохранившееся со времен искусственно заниженных цен на ресурсы, усугубляется общим экономическим кризисом и отсутствием инвестиций для перестройки сферы производства и потребления топлива и энергии. В стране до 40% всех используемых энергоносителей расходуется нерационально либо в виде прямых потерь, либо в экономике, которая не дает конкретного полезного результата у потребителя.

Высокий уровень энергозатрат и значительные потери энергии, которые характерны для большинства отраслей промышленности и народного хозяйства, определяют актуальность проведения активной энергосберегающей политики [1].

Котлы электродные водогрейные типа КЭВ 10000/6 [2], установленные на электрокотельной левобережного теплового района г. Усть-Илимска, предназначены для получения горячей воды за счет теплоты, выделяемой при прохождении электрического тока непосредственно через воду.

Электроводогрейные котлы также могут применяться на строительных площадках, промышленных предприятиях, где необходима для технологических процессов горячая вода с температурой 95-150°C.

От удельного электрического сопротивления воды, которое в действующих установках значительно меняется не только в зависимости от температуры, но также состава и количества растворенных солей, взвешенных частиц, зависит мощность и конструктивные особенности КЭВ [3,6].

Удельное электросопротивление исходной воды при температуре плюс 20 °С для ряда районов средней полосы страны меняется от 2700 до 8000 Ом·см. Для варианта исполнения котлов типа КЭВ-IV_ц с цилиндрическими электродами на промпредприятии эта величина составляет $\rho_{20} = 7-8$ тыс. Ом·см. Однако, по данным того же предприятия, этот параметр в течение года обычно колеблется в пределах $6,9 \div 7,1$, реже $6,25 \div 7,1$ тыс. Ом·см, что соответствует изменению теплопроизводительности котла от 3 до 12 % [4].

В работе проведены расчетные исследования по оценке влияния на мощность и теплопроизводительность устройства параметра ρ_{20} в диапазоне 6-8 тыс. Ом·см, что вносит существенные корректировки в технические паспортные характеристики, в частности на величину теплопроизводительности КЭВ в пределе до 24 %.

С понижением параметра ρ_{20} до отмеченного выше практического уровня тепловая мощность котла возрастает незначительно (менее 1%), однако при пиковых отопительных нагрузках данный фактор позволяет контролировать дополнительно порядка 5-6 % теплопроизводительности электрокотельной в целом, что в денежных единицах составляет свыше 100 тыс. рублей и более за сутки работы.

В работе также исследованы вопросы повышения тепловой мощности электрокотельной рассматриваемого промышленного предприятия без изменения электрической нагрузки, например, при пиковых отопительных нагрузках в зимний период работы.

Одним из вариантов повышения единичной мощности установленных на предприятии водонагревательных установок типа КЭВ 10000/6 является локальное варьирование геометрическими параметрами токоподводящих элементов, в частности, диаметрами фазных (центральных) электродов в определенных секторах по длине в пределах от 100 до 120 мм [5].

Расчетные исследования показали, что при увеличении рабочей поверхности фазных электродов такие параметры, как плотность тока, фазное напряжение, напряженность электрического поля, находятся в пределах допустимых значений практически для всего исследованного диапазона и для рассмотренного интервала значений удельного электрического сопротивления воды ($\rho_{20} = 6000-8000 \text{ Ом}\cdot\text{см}$) в том числе. В отмеченных диапазонах изменения геометрических параметров фазных электродов и параметра ρ_{20} тепловая мощность КЭВ возрастает на 15-18 %.

Ограничивающими факторами в данном случае является максимальная электрическая мощность электродных котлов, зависящая в свою очередь от допустимой силы тока, а также гидравлическое сопротивление водяного тракта водонагревательных установок.

В работе представлены как цифровые, так и графические зависимости для определения диапазона повышения тепловой мощности КЭВ 10000/6 в практически рациональном интервале локального изменения геометрических параметров центральных электродов.

Изменение отмеченных параметров представляется наиболее вероятным с точки зрения практического исполнения, так как периодически (один–два раза в год) необходимо менять фазные электроды вследствие их физического износа.

Все параметрические расчеты выполнены на ЭВМ с помощью специально разработанной на языке программирования *TURBOPASCAL 7.0* программы «Электрокотел», оттарированной под паспортные данные рассматриваемых в работе КЭВ. Она позволяет при варьировании геометрических параметров рассчитывать такие величины, как: мощность котла, плотность тока, фазное напряжение, напряженность электрического поля, температура подогрева воды. В программе также имеется возможность построения графиков изменения данных параметрического расчета.

Заключение. Практическая реализация рассмотренного в работе проекта позволяет при наличии в электрокотельной шести-семи котлоагрегатов типа КЭВ 10000/6 получить дополнительно тепловую энергию приблизительно равную теплопроизводительности еще одного установленного котла за зимний отопительный сезон.

Библиографический список

1. Бушуев В.В. Энергоэффективность как направление новой энергетической политики России // Энергосбережение. – М., 2000. – № 4. – С. 18 – 25.
2. Паспорт котлов электродных водогрейных напряжением 6-10 кВ типа КЭВ. Братск: ЗСТЭМИ-2, 1995.
3. Федяев А.А., Ковьях А.Г., Федяева В.Н. Влияние начальных параметров энергоносителя на номинальную теплопроизводительность электродных котлов. XVIII научно - техническая конференция. Тезисы докладов. Братск, БрИИ, 1997 г., с. 107.

4. Федяев А.А. Энергосбережение при выработке тепловой энергии для систем теплоснабжения. Труды семинара вузов Сибири и Дальнего Востока по теплофизике и теплоэнергетике. Новосибирск: 1999 г., с.193.
5. Федяев А.А., Винарский С.Л. Повышение единичной мощности электродных водогрейных котлов типа КЭВ. XVIII научно - техническая конференция. Тезисы докладов. Братск, БрИИ, 1997 г., с.108.
6. Правила устройства и безопасной эксплуатации электродных котлов и электрокотельных /тепломеханическая часть/. М.: ВПИ и НИИ "Гидропроект", изд. ОРГРЭС, 1996.

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	vends1@mail.ru

Аннотация

В работе выполнены параметрические расчеты с помощью специально разработанной программы «Электрокотел». Представлены как цифровые, так и графические зависимости для определения диапазона повышения тепловой мощности КЭВ 10000/6 в практически рациональном интервале локального изменения геометрических параметров центральных электродов.

Ключевые слова: электродные котлы, удельное электросопротивление, теплопроизводительность, фазные электроды, напряженность электрического тока.

УДК 621.18

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.33.31

Основные теплотехнические измерения для безопасной и эффективной работы теплогенератора

Иванова И.В.

Введение. Теплогенератор – это устройство, вырабатывающее тепло и нагнетающее теплый поток воздуха посредством сжигания различных видов топлива. На сегодняшний день актуальны работы по созданию бытового теплогенератора (печи длительного горения), работающего на тех же фундаментальных принципах, которые положены в основу работы промышленного газогенератора для утилизации древесных отходов [1].

Целью работы является анализ оборудования и аппаратуры, используемой при теплотехнических измерениях основных конструктивно-технических характеристик теплогенератора для безопасной и надежной его эксплуатации.

Основными показателями работы теплогенератора (печи длительного горения) будут являться следующее:

- устойчивость работы на заданном режиме (по тепловому потоку и работе отдельных элементов теплогенератора: загрузочно-опускной шахты, колосника, самого процесса горения твердого остатка на колосниковой решетке и горения продуктов газификации в кольцевой камере сгорания печи);
- температура дымовых газов, входящих из теплогенератора и поступающих далее в теплоотдающие элементы (калориферы);
- часовой расход дров.

Для последующей оптимизации процессов, происходящих в печи длительного горения, необходимо задействовать следующие измерения [2]:

- общего расхода воздуха, поступающего в теплогенератор и его составляющих (первичный и вторичный воздух);
- содержание свободного кислорода в дымовых газах, выходящих из печи длительного горения;
- состав дымовых газов, поступающих в теплоотдающие элементы (калориферы) на содержание продуктов неполного горения.

С целью контроля режимных параметров и последующей оптимизации весьма сложных тепловых и аэродинамических процессов, происходящих в теплогенераторе длительного горения при его работе, был проведен анализ существующих измерительных приборов и определение их принципиальной пригодности для конструкции теплогенератора.

Как было показано ранее, одной из важнейших характеристик, с помощью которой можно регулировать интенсивность тепловых процессов, происходящих в печи длительного горения, является расход воздуха. В табл. 1 приведены пределы изменения расходов воздуха в теплогенераторе при расчетных значениях минимального и максимального расходов дров. Здесь принято, что коэффициент избытка воздуха для процесса горения топлива в теплогенераторе составляет $\alpha = 1,2$ [3].

Таблица 1. Пределы изменения расхода воздуха в зависимости от расхода дров

Расчетный расход дров G_i , кг дров/час	Объемный расход воздуха через теплогенератор		
	Объемный расход воздуха, $\text{нм}^3/\text{час}$ (кг воздуха/час)	Расход первичного воздуха, $\text{нм}^3/\text{час}$ (кг воздуха/час)	Расход вторичного воздуха, $\text{нм}^3/\text{час}$ (кг воздуха/час)
$G_{\min} = 1$	3,7 (4,8)	3,1 (4,0)	0,6 (0,8)
$G_{\max} = 4,14$	15,3 (19,9)	12,8 (16,6)	2,5 (3,3)

Как видно из табл. 1, расходы первичного и вторичного воздуха отличаются практически на порядок. При этом определенные технические затруднения может вызвать лишь измерение достаточно малого значения расхода вторичного воздуха при минимальном расчетном расходе дров. Самыми доступными во всех

отношениях приборами для измерения объемных расходов газов и жидкостей являются ротаметры, являющиеся наиболее распространенной разновидностью расходомеров постоянного перепада давления [2]. К тому же они имеют линейную шкалу, просты в обращении и достаточно точны. Для измерений при максимальном расчетном расходе дров существует достаточно широкий набор ротаметров типа РМ (стеклянный с местными показаниями) и РМФ (стеклянный специальный). Для измерений при минимальном расходе дров может быть использован ротаметр РМ-2,5 с верхним пределом измерений 2,5 м³/час, диаметром условного прохода $d_y = 15$ мм. Прибор имеет фланцевое соединение; допустимая погрешность – 2,5%.

Как вариант, для измерений расхода могут быть использованы также расходомеры со стандартными и специальными сужающими устройствами [2]. Эти расходомеры также достаточно доступны и получили широкое распространение среди средств измерения расхода. Они являются приборами переменного перепада давления и используют зависимости перепада давления на сужающем устройстве трубопровода от расхода. Расходомеры переменного перепада применяются для измерения расходов от 1 м³/час в трубопроводах с диаметром условного прохода от 50 мм, в отдельных (специальных) случаях от 12 мм. Кроме известных требований, предъявляемых к таким приборам с целью их надежной работы, для стандартных сужающих устройств на измерительном участке поток обязательно должен быть турбулентным. Для специальных сужающих устройств последнее требование необязательно.

При выборе стандартных сужающих устройств необходимо учитывать, что потеря давления в них возрастают в следующей последовательности: труба Вентури, сопло, диафрагма. Кроме того, при одних и тех же значениях относительной площади и перепада давления и прочих равных условиях сопло позволяет измерять большой расход, чем диафрагма, и обеспечивает большую точность измерения по сравнению с диафрагмой.

Для условий измерения малых расходов вторичного воздуха важно, что ряд специальных сужающих устройств (диафрагмы с входным конусом, сопла и «четверть круга», двойные диафрагмы и цилиндрические сопла) могут быть использованы для измерения расхода сред при малых числах Рейнольдса. Для выяснения принципиальной пригодности применения того или иного вида диафрагмы (стандартной или специальной) для измерения расхода воздуха оценим значения чисел Рейнольдса на рабочем участке трубопровода. Данные табл. 2 показывают, что для измерения расходов воздуха следует использовать специальные сужающие устройства, т.к. в большинстве случаев для возможных диаметров трубопроводов режим течения воздуха ламинарный или переходный

от ламинарного к турбулентному. Конкретно для измерения расходов первичного и вторичного воздуха можно использовать цилиндрические сопла.

Таблица 2. Значения числа Рейнольдса для расходов первичного и вторичного воздуха в трубопроводах равного диаметра

Расход воздуха при крайних режимах работы теплогенератора, м ³ воздуха/час	Расчетный расход дров G , кг дров/час	Значения числа Re при различных диаметрах трубопровода		
		$d_y = 25$ мм	$d_y = 50$ мм	$d_y = 100$ мм
3,1	1	3840 (переходный режим)	1928 (ламинарный режим)	970 (ламинарный режим)
12,8	4,14	13270 (турбулентный режим)	1928 (переходный режим)	970 (переходный режим)
0,6	1	643 (ламинарный режим)	321 (ламинарный режим)	161 (ламинарный режим)
2,5	4,14	2655 (переходный режим)	1321 (ламинарный режим)	664 (ламинарный режим)

Кроме измерения расходов первичного и вторичного воздуха необходим также независимый и непосредственный контроль за содержанием остаточного кислорода в потоке дымовых газов, отводимых в вытяжную (дымовую) трубу. Здесь целесообразно использовать по аналогии с контролем остаточного кислорода, проводимым на электростанциях, либо прямое определение с помощью кислородомера, либо косвенный метод определения коэффициента избытка воздуха. Для непосредственного определения остаточного кислорода в потоке дымовых газов часто используют термомагнитные газоанализаторы типы МН 5106-2 с пределом допустимой основной погрешности от 2 до 5% (в зависимости от диапазона измерения) или прибор типа «Оскар» со средней погрешностью 2,5%.

Косвенный метод определения коэффициента избытка воздуха в продуктах сгорания основан на установлении процентного содержания в потоке продуктов сгорания сухих трехатомных газов $RO_2 = CO_2 + SO_2$. Далее по данным анализа на RO_2 с использованием номограмм определяют коэффициент избытка воздуха в продуктах сгорания. Анализ порции дымовых газов на содержание RO_2 можно провести и с использованием ручного газоанализатора типа ВТИ или ОРСА. Надежность косвенного метода зависит, в основном, от того, насколько тщательно и точно выполнен анализ дымовых газов на содержание трехатомных газов и настолько точно для данного топлива известно значение максимального содержания сухих трехатомных газов RO_2 в данном топливе. В последующем указанный выше минимум измерений будет дополнен хроматографическим

анализом газообразных продуктов на содержание продуктов неполного горения топлива [3].

К необходимому минимуму обязательных измерений следует отнести также измерение средней температуры отходящих из теплогенератора дымовых газов. Эти измерения могут быть выполнены с помощью самостоятельно изготовленных ХА-термопар с закрытым спаем. К числу важных температурных измерений относится также измерение температуры на стенке загрузочной шахты, так как интенсивность подготовительных процессов и собственно газификация топлива, находящегося в загрузочной шахте теплогенератора, в конечном итоге зависит от теплового потока, поступающего в топливо горячей поверхности шахты. Это измерение предполагается также выполнять с помощью ХА-термопар, заведённых на стенку через предусмотренные в конструкции печи отверстия.

Заключение. На основе качественного и количественно анализов возможных не расчетных режимов работы бытового газогенератора (печи длительного горения) с помощью контрольно-измерительной аппаратуры можно всегда предложить перечень технических мероприятий для вывода теплогенератора на расчетный режим и в целом решить вопросы безопасной и надежной эксплуатации теплогенератора.

Библиографический список

1. *Иванова, И.В.* Анализ методов термической переработки биомассы в газогенераторных установках / И.В. Иванова, А.А. Куликов, М.М. Иванов, В.А. Прохоров // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021.– 612 с. – С. 171-179.
2. *Иванова, И. В.* Теплотехнические измерения в теплоэнергетике: учебное пособие / И. В. Иванова, А. А. Куликов, М. М. Иванов, В. А. Прохоров. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 140 с.
3. *Пижурин, А.А.* Справочник энергетика деревообрабатывающего предприятия / А.А. Пижурин и др. – Москва: Лесная пром-сть, 1982. – 400 с.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова Ирена Викторовна
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 оборудования и аппаратуры для теплотехнических измерений при эксплуатации теплогенератора (печи длительного горения) с целью обеспечения безопасной и экономичной его работы.

Ключевые слова: теплогенератор, теплотехнические измерения, анализ дымовых газов, расход, температура, состав газов.

УДК 53.082

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 59.37.29

Результаты оценочных расчетов теплогенератора длительного горения

Иванов М.М., Иванов Н.М.

Введение

По способу теплообразования отопительный котел длительного горения на дровах ничем не отличается от обычного, так называемого котла прямого горения. В его топке сгорает органическое топливо (древесина, уголь, торф и пр.), а тепло от пламени и дымовых газов передается теплоносителю: воздуху (в печах-конвекторах) или воде (в котлах на дровах с водяным контуром). Но если в обычном котле закладку топлива приходится обновлять в среднем через каждые 4 часа, то прибор с длительным горением способен проработать без дозаправки в среднем 12 часов на древесном топливе и 36 часов на угольном. Очевидным и напрашивается само собой, что нужно увеличить размеры топки, чтобы в нее можно было поместить побольше топлива. Действительно, в теплогенераторах прямого горения мощностью 20 кВт объем топки составляет примерно 50...60 л, тогда как в «долгоиграющих» печах той же мощности этот показатель увеличен до 100...150 л, а у некоторых гигантов вообще составляет более 250 л [1, 2].

Целью работы является анализ расчетных режимов работы бытового газогенератора (печи длительного горения) и разработка перечня технических мероприятий для их устранения с целью вывода теплогенератора на расчетный режим.

Допустим, что после розжига теплогенератора длительного горения он работает в нерасчетном режиме, близком к работе обычной огнепламенной печи, то есть с большим расходом дров при большом коэффициенте избытка воздуха и низкой температуре дымовых газов.

Проанализируем возможные причины такого режима работы печи и найдем способы их устранения:

1. Низкая теплопередача от дымовых газов к топливу, находящемуся в загрузочно-опускной шахте.

Низкая теплопередача может быть обусловлена низкой температурой стенки загрузочной шахты вследствие малого времени пребывания горячих дымовых газов в зазоре между внешней оболочкой печи и стенкой загрузочной шахты.

С целью устранения этого возможного отрицательного фактора предлагается устройство жалюзийной решетки (ребер), приваренной к наружной стенке загрузочной шахты и оболочке печи по ходу дымовых газов к вытяжной трубе. Такие ребра будут способствовать искусственному увеличению времени пребывания дымовых газов в кольцевом зазоре между загрузочной шахтой и внешней оболочкой печи и, одновременно, увеличению коэффициента теплообмена между горячими дымовыми газами и стенкой загрузочной шахты. Более интенсивному теплоподводу от дымовых газов к стенке загрузочной шахты будет способствовать значительное увеличение величины площади наружной поверхности загрузочной шахты из-за ее оребрения.

Устройство такой жалюзийной решетки облегчит создание нужной для воспламенения концентрации газообразного топлива, поступающего в нижнюю часть кольцевого зазора. Наличие горячих ребер обеспечит более устойчивый процесс горения продуктов газификации в кольцевом зазоре.

Показателем эффективности влияния жалюзийной решетки (оребрения) на процесс будет являться увеличение температуры на поверхности загрузочной шахты и, как следствие, увеличение теплопередачи от дымовых газов к топливу в загрузочной шахте печи.

2. Низкий темп прогрева дров в загрузочной шахте.

Отметим, что темп прогрева топлива перед его газификацией и последующим сжиганием продуктов газификации в кольцевом зазоре является очень важной характеристикой работы печи длительного горения. Допустим, что при высокой температуре на поверхности загрузочной шахты имеет место низкий темп прогрева дров в загрузочной шахте.

На первый взгляд, кажется, что для увеличения темпа нагрева дров в таком случае достаточно изменить горизонтальное расположение поленьев в загрузочной шахте на вертикальное. С помощью такого приема можно сразу в несколько раз увеличить тепловоспринимающую поверхность дров, так как боковая поверхность полена для рассматриваемой модели печи приблизительно в 6 раз превышает удвоенную торцевую поверхность того же полена.

Изменение горизонтального расположения поленьев дров на вертикальное все же является нежелательным из-за возможности заклинивания топлива при его сходе в загрузочной шахте. Кроме того, известно, что теплопроводность древесины вдоль волокон превышает теплопроводность поперек волокон в 2...3 раза. Поэтому скорость прогрева поленьев с торцов при горизонтальном расположении в загрузочной шахте будет значительно выше, чем при вертикальном их положении.

В итоге изменение темпа прогрева за счет увеличения тепловоспринимающей поверхности дров при перемене их расположения в

шахте с горизонтального на вертикальное в значительной мере будет нивелировано уменьшением теплопроводности древесины в радиальном направлении по сравнению с теплопроводностью в осевом направлении. Планируемое горизонтальное расположение поленьев в загрузочной шахте является, по-видимому, оптимальным. При прочих равных условиях для увеличения тепловоспринимающей поверхности поленьев с целью сокращения времени их прогрева до температуры газификации следует брать поленья более толстые и короткие. В таком случае отношение площади боковой поверхности и площади торцевой поверхности будет стремиться к единице. Для достижения обратного эффекта, то есть уменьшения скорости прогрева и увеличения времени нагрева поленьев до температуры газификации древесины желательно использовать в печи более длинные и тонкие поленья.

Заметим, что если теплоотдача от внутренней поверхности загрузочной шахты к топливу будет происходить путем излучения, то за счет многократного отражения лучистого потока последний будет попадать не только на торцевые поверхности поленьев, но и на их боковую поверхность. Чтобы не препятствовать этому процессу, не следует загрузку поленьев производить таким образом, чтобы торцы поленьев слишком плотно прилегали к поверхности загрузочной шахты. При таком способе загрузки, очевидно, будет не только снижаться доля теплоты, отдаваемой с поверхности загрузочной шахты путем излучения, но одновременно снизится и количество теплоты, подводимое к торцам поленьев за счет теплопроводности, вследствие быстрого их обугливания и возрастания теплового сопротивления в месте контакта с горячей поверхностью шахты [3].

Из сказанного следует, что одной из причин низкого темпа нагрева (газификации) топлива в загрузочной шахте может являться слишком плотное прилегание торцов поленьев к стенкам загрузочной шахты при плотной общей ее загрузке. В этом случае будет очень мала величина свободной (теплоизлучающей) поверхности загрузочной шахты и мал подвод теплоты за счет теплопроводности из-за обугливания торцов поленьев при плотном их касании стенок шахты. Устранить влияние этих нежелательных факторов можно путем снижения общей плотности загрузки топлива в шахте (брать поленья с большим диаметром) и путем уменьшения длины поленьев (для исключения слишком плотного прилегания их торцов к горячим стенкам шахты). Напротив, для снижения интенсивности теплоотдачи от стенки загрузочной шахты в топливо можно использовать поленья с меньшим диаметром и нарезать поленья по длине близкими к диаметру загрузочной шахты.

При оптимизации работы теплогенератора длительного горения в принципе возможно появление нерасчетного режима другого характера, когда при

закрытом грузочном люке процесс горения идет, но является неустойчивым. Рассмотрим возможные причины такого рода неустойчивого режима работы теплогенератора и способы их устранения.

Образующийся на колосниковой решетке достаточно толстый слой твердого остатка (кокса) может затруднять поступление продуктов газификации в кольцевой зазор для последующего их сжигания.

Свободный доступ газообразных продуктов в кольцевую камеру сгорания можно обеспечить путем опускания вниз колосниковой решетки, что предусмотрено в конструкции печи без ее остановки и разборки.

Заключение.

Для лучшей эвакуации продуктов газификации древесины из нижней части грузочной шахты, а также для поддержания устойчивого очага горения в нижней части кольцевого зазора можно сделать отверстия для выхода газа у основания грузочной шахты. Отметим, что при вертикальном перемещении колосниковой решетки изменяется интенсивность прогрева топлива, находящегося в нижней части грузочной шахты, а значит интенсивность выхода продуктов газификации древесины в кольцевой зазор (камеру сгорания газа). Поэтому вначале должно быть найдено оптимальное положение колосниковой решетки, обеспечивающей работу теплогенератора в режиме, близком к расчетному, с последующей оптимизацией процесса по остальным параметрам.

Библиографический список

1. Микроклимат. URL:<https://microklimat.pro/otopitelnoe-oborudovanie/kotly/dlitelnogo-goreniya-na-drovaх-dlya-doma.html> – (дата обращения 04.02.2022).
2. Воликов, А.Н. Сжигание газового и жидкого топлива в котлах малой мощности /А.Н. Воликов – Ленинград: Недра, 1989. – 160 с.
3. Головков, С.И. Энергетическое использование древесных отходов / С.И. Головков и др. – Москва: Лесн. пр-ть, 1987. – 224 с.

Сведения об авторах

ФИО	Иванов Михаил Михайлович
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	Иванов Н.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес организации	190000, Б. Морская, д.67, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код
e-mail

—
iv-nikola@mail.ru

Аннотация

На основе качественного и количественно анализов возможных не расчетных режимов работы бытового газогенератора (печи длительного горения) разработан перечень технических мероприятий для их устранения с целью вывода теплогенератора на расчетный режим.

Ключевые слова: печь длительного горения, теплопередача, тепловое излучение, расчетные режимы работы.

УДК 620.91

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 62.35.33

Интенсификация процессов газификации

Иванова И.В., Иванов Н.М.

Введение

Газификацией называют высокотемпературные процессы взаимодействия органической массы твердых или жидких горючих ископаемых или продуктов их термической переработки с воздухом, в результате чего органическая часть топлива превращается в горючие газы. При этом протекают сложные гетерогенные процессы взаимодействия углерода твердой фазы с газами дутья. Восстановительные реакции носят эндотермический характер, т.е. сопровождаются поглощением тепла. По сравнению с использованием топлива непосредственно в твердом виде газификация отличается большими преимуществами. Горючие газы легко транспортируются по трубам на значительные расстояния. При сжигании газа не образуется твердых остатков (зола); легко достигаются автоматизация и регулирование процесса, полнота сгорания и высокий температурный уровень горения. Для превращения твердого топлива в газообразное применяют специальные аппараты – газогенераторы [1, 2].

Целью работы является исследование стадий организации процесса газификации и анализ схем для его реализации в газогенераторе. Высота активной зоны в газогенераторе зависит главным образом от скорости движения газообразных продуктов в камере сгорания и от скорости идущих в ней химических реакций. Если конструктивная высота активной зоны (H_k) меньше термохимической (H_T), то реакции восстановления не успеют закончиться. Поэтому часть продуктов газификации, не успевших восстановиться, выйдет из генератора, увеличив процентное содержание CO_2 и H_2O в газе. Если $H_k > H_T$, то вследствие эндотермичности реакций восстановления температура газа по мере

прохождения восстановительной зоны будет падать. Это приведет к усилению обратных реакций и, следовательно, к уменьшению количества CO и H₂. На практике величина H_k должна быть немного больше термохимической высоты активной зоны, так как реальная реактивная способность топлива меньше теоретической [3].

Применяя, предварительный подогрев дутья или обогащая его кислородом, можно резко повысить температуру в зонах реагирования. В связи с этим возможна интенсификация процессов газификации, если они протекают в кинетической или промежуточной областях. Это объясняется тем, что для кинетической области реагирования суммарная скорость всего гетерогенного процесса определяется только кинетикой химической реакции. Зависимость же константы скорости реакции от температуры очень сильная ($\omega \approx e^{-\frac{E}{kT}}$). При этом улучшается состав газа, повышается КПД, стабилизируется процесс воспламенения. Однако, необходимо отметить, что повышение температурного режима работы газогенератора является целесообразным лишь до определенного уровня. При $t > 1800...2000$ °С равновесие обратимых химических реакций смещается в сторону образования исходных продуктов; больше потребляется тепла на их образование; резко растут тепловые потери.

Повышение скорости дутья служит фактором интенсификации процессов газификации, протекающих в диффузионной области реагирования. В этом случае лимитирующей стадией всего процесса является подвод к поверхности раздела фаз реагентов и отвод образовавшихся продуктов. Примером может служить реакция взаимодействия углерода с кислородом при $t = 1000...1100$ °С.

Увеличение скорости дутья усиливает молярную диффузию газообразных веществ к поверхности углерода. При этом не наблюдается ухудшения качества газа и КПД газификации. Это можно объяснить повышением температуры в зонах, а также увеличением выноса первичной окиси углерода, не успевшей догореть в CO₂, из кислородной зоны.

Пределом скорости реакции в слое является переход в кинетический режим. Однако на практике достигнуть его в кислородной зоне обычно не удается. Поэтому предельная скорость подачи дутья определяется уносом топлива из генератора и потерей гидродинамической устойчивости слоя.

С увеличением концентрации O₂ в дутье растет скорость реагирования в соответствии с законом действующих масс, вследствие роста действующей концентрации. В результате повышения температуры увеличиваются константы скоростей реагирования. Опыты показывают, что при содержании 50% O₂ в дутье производительность газогенератора при газификации кокса возрастает вдвое при повышении теплоты сгорания газа с 4857 до 7955 кДж/нм³ [2].

С увеличением концентрации водяного пара в дутье сильно снижается температура в кислородной зоне, за счет реакции разложения пара. При изучении механизма этой реакции было обнаружено, что при небольших концентрациях паров воды реакция $C + H_2O \leftrightarrow CO + H_2$ имеет первый порядок, который с повышением концентрации H_2O (например, при увеличении давления) понижается до нулевого. В связи с этим, в области малых концентраций H_2O в дутье скорость реакции возрастает пропорционально содержанию паров воды. Некоторое уменьшение температуры здесь слабо сказывается. В области высоких концентраций, когда скорость реакции практически не зависит от содержания H_2O , на нее оказывает сильное влияние уменьшение температуры и связанное с этим уменьшение константы скорости реакции. Для восстановительной зоны снижение степени разложения объясняется резким снижением температуры.

При повышении давления в реакционном объеме увеличивается плотность и уменьшается линейная скорость реагирующего газа. Поэтому при постоянном реакционном объеме увеличивается продолжительность контакта газов с топливом, что приводит к сокращению потребной длины реакционной зоны и к увеличению производительности газогенератора. Состав газа на выходе из кислородной зоны вследствие больших количеств CO_2 ухудшается, но в конце восстановительной зоны он заметно улучшается за счет большого содержания CH_4 . Температура в слое практически не зависит от повышения давления, а определяется массовым расходом дутья. При высоких температурах кислородной зоны реагирование протекает в диффузионной области. Уменьшение коэффициента диффузии полностью компенсирует повышение концентрации O_2 с ростом давления и протяженность зоны практически не меняется. В зоне восстановления процесс реагирования протекает в кинетической или промежуточной области, поэтому суммарная константа скорости реакции слабо зависит от давления. Увеличение же действующей концентрации CO_2 с ростом давления ускоряет реакции восстановления углекислоты и, как следствие, сокращает зону восстановления.

Повышение давления наиболее сильно сказывается на составе и теплоте сгорания генераторного газа при сравнительно невысоких температурах газификации (500...900 °С) и избыточных давлениях (20...30 кгс/см²). В генераторном газе в этом случае возрастает доля CO_2 и CH_4 и снижается содержание двухатомных газов H_2 и CO .

Из всего комплекса операций, необходимых для организации процесса газификации твердого топлива, можно выделить следующие стадии:

1. Подача топлива и воздуха;
2. Смешение и движение топлива и воздуха;

3. Тепловая подготовка: подогрев воздуха и топлива, сушка топлива, выделение летучих;
4. Воспламенение топлива;
5. Горение углерода топлива и летучих;
6. Реакции восстановления;
7. Движение и отвод получаемых газообразных продуктов;
8. Выделение и отвод негорючей части топлива – золы и шлаков.

На все эти стадии, особенно на 5 и 6 оказывают большое влияние тепловые и гидродинамические факторы.

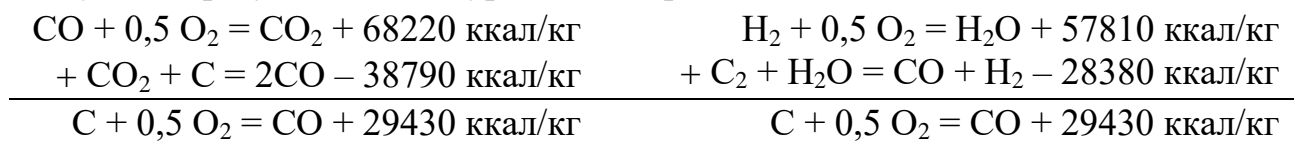
В зависимости от крупности частиц топлива и характера механического и гидродинамического воздействия на них можно отметить три основных способа газификации: кускового топлива в плотном слое; мелкозернистого топлива в кипящем или псевдосжиженном слое; пылевидного топлива в газовом потоке.

В случае газификация кускового твердого топлива дутье пронизывает плотный слой частиц, расположенных на неподвижной или движущейся колосниковой решетке и прилегающих друг к другу под действием силы тяжести или скоростного напора потока газа, прижимающего частицы к решетке. В зависимости от конкретного технического воплощения в реальных устройствах различных стадий организации процесса газификации можно выделить целый ряд схем [4, 5]:

1. Противоточный процесс (прямое горение). В качестве примера можно привести газогенератор В.А. Лямина [1]. Древесная щепка загружается в верхнюю расширенную часть генератора. Воздух подводится снизу (основная дутьевая решетка) и через ряд периферийных фурм. Благодаря увеличению диаметра верхней части агрегата, отводимый газ содержит меньше унесенных непрореагировавших частиц;

2. Параллельноточный процесс (обращенное горение). Примером может служить транспортный газогенератор конструкции К.А. Журавлева [1];

3. Параллельноточный процесс с подводом дополнительного тепла в восстановительную зону за счет сжигания там части газа. Как показал В.С. Альтшулер [4], конечный результат в этом случае можно рассматривать как газификацию дополнительного количества углерода топлива, что видно из следующих результативных уравнений процесса:



При такой организации процесса зона восстановительных реакции получает дополнительное количество тепла. Это приводит к росту температур в зоне и, следовательно, к росту степени восстановления CO_2 и разложения водяного пара;

4. Комбинация противоточного и параллельноточного процессов (двухзонный газогенератор). Нижняя зона прямого горения служит для дожигания углеродного остатка и носит вспомогательный характер;

5. Поперечноточный процесс с зажатым слоем;

6. Поперечноточный процесс на движущейся колосниковой решетке. Процесс легко регулируется, упрощается вывод золы. Время пребывания частицы топлива в слое определяется скоростью движения решетки;

7. Горновой метод. По своей сути это противоточный процесс, но его особенность заключается в следующем. С помощью направленного острого воздушного дутья, подаваемого через фурмы, в ограниченной области свободно залегающего топлива создается высокотемпературный очаг горения. Он обеспечивает высокую интенсивность процесса, одновременное превращение золы топлива в жидкое состояние и удаление ее при максимальной текучести. Примером может служить газогенератор ВТИ [1, 5].

Во всех рассмотренных схемах (кроме п. 3) при соблюдении условия устойчивости слоя и отсутствия выноса частиц, время пребывания частицы топлива любой крупности в плотном слое ничем не ограничено, вплоть до полного ее выгорания.

Газогенераторы с кипящим слоем получили промышленное развитие в современной газогенераторной технике. Процесс газификации в кипящем слое, как правило, осуществляют в конически расширяющейся камере. Тогда более крупные частицы будут находиться во взвешенном состоянии в нижней ее части, а мелкие – в верхней. К достоинствам данного способа газификации можно отнести хорошее перемешивание частиц в слое. Это приводит к выравниванию температуры по высоте и, таким образом, создает благоприятные условия для протекания восстановительных реакций.

Газификация пылевидного топлива имеет большое значение для высокозольных, содержащих много мелочи топлив. Процесс осуществляется в газоздушном потоке, несущем частицы топлива во взвешенном состоянии через камеру газификации. Различают прямой и вихревой процессы. Порозность в данном случае еще больше возрастает, а концентрация топлива в единице объема уменьшается. В отличие от слоевого процесса время пребывания частицы топлива в газогенераторе ограничено временем, за которое она проходит весь аппарат. В вихревом процессе это время увеличивается за счет организации многократной циркуляции частиц в камере газификации. Это позволяет газифицировать в вихревых аппаратах более крупное по размеру топливо.

Как и в случае газификации мелкозернистого топлива в кипящем слое, уменьшение размеров частиц позволяет резко интенсифицировать процесс, но также резко растет унос и возможность догорания CO_2 и H_2 .

Как уже отмечалось, древесные отходы предприятий лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности отличаются высоким содержанием влаги и смолистых веществ; ярко выраженной разнородностью состава (от опилок до крупной щепы). Все это накладывает дополнительные требования на газогенераторные установки, использующие топлива данного вида. В этой связи очевидны недостатки способов газификации мелкозернистых топлив в кипящем слое или пылевидных топлив в газовом потоке.

Отсутствие зон с повышенной температурой ($> 1000^{\circ}\text{C}$) в случае кипящего слоя, не позволит осуществить эффективное разложение смоляных паров. Другим недостатком является высокий процент уноса. В современных газогенераторах он достигает в отдельных случаях 20...25% [5]. Это накладывает жесткие требования на однородность фракционного состава мелкозернистого топлива. Но даже и в случае узкофракционного состава нельзя избежать уноса, так как по мере выгорания частицы измельчаются и выносятся за пределы слоя, что ведет к большому механическому недожогу. Это, в свою очередь, вызывает необходимость специальных устройств либо по улавливанию и возврату в газогенератор унесенных частиц, либо по их дальнейшей газификации или сжиганию уже в пылегазовом потоке.

Еще одним недостатком является увеличение порозности топлива и, как следствие, уменьшение реакционной поверхности в единице объема. В результате происходит растягивание зон горения и восстановления; увеличение догорания окном углерода. Все это ухудшает состав газа по сравнению с процессом газификации в плотном слое. Необходимо также отметить и чисто технические трудности по организации стабильного кипящего слоя.

Требования к золо- или шлакоулавливающей аппаратуре при газификации пылевидного топлива еще более высокие. Большие температуры отходящих газов требуют сооружения специального оборудования для утилизации физического тепла газа. Благодаря высоким скоростям движения частиц, происходит довольно интенсивное разрушение футеровки газогенераторов. Частично эти недостатки можно устранить, проводя газификацию в ванне с расплавленными металлами, солями или шлаками.

Частицы пылевидного топлива обладают малой инерцией и двигаются вместе с несущим их газовым потоком с относительной скоростью, близкой к нулю. Это снижает интенсивность подвода газообразных реагентов к поверхности частиц конвективным путем, ограничивая его молекулярной диффузией.

При прямом и поперечноточном процессах газификации в плотном слое газы основного процесса и продукты сухой перегонки смешиваются и уносятся через верхний патрубок в очиститель. Данный метод широко используется при

энергохимической переработке древесных отходов. Главным здесь является получение максимального выхода суммарного конденсата (смоли, спирты, кислоты и т.п.). Получаемый горючий газ является, по сути дела, продуктом побочным [1].

Целью чисто энергетического использования отходов лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий является получение горючего газа с максимальным выходом с 1 кг топлива, обладающего максимальной скрытой химической энергией и минимальным содержанием смолы и прочих примесей. При таком подходе очевидно преимущество способа газификации с обращенным движением газов. В этом случае все продукты сухой перегонки, двигаясь сверху вниз, неизбежно пройдут окислительную зону с высокой температурой. Здесь под влиянием кислорода воздуха они сгорят с выделением скрытой химической энергии смолистых соединений. В этом случае она используется в процессе газификации в отличие от генератора прямого или поперечноточного процессов. Кроме того, в газогенераторе, работающем по принципу опрокинутого горения, топливо, поступающее из бункера в окислительную зону камеры сгорания, обугливается по дороге. После зоны активного горения оно попадает в восстановительную зону уже в виде натурального измельченного угля, содержащего высокий процент углерода. Тем самым создаются благоприятные условия для течения реакций восстановления. Необходимо также отметить большую стабильность процесса обратного горения, так как в этом случае в реакциях газификации участвует все время одно и то же количество топлива, заключенное в камере газификации (от уровня основных фурм до колосниковой решетки). При прямом же процессе, в случае одновременной газификации всего загруженного в генератор топлива, то есть при дискретном характере загрузки, высота газифицируемого слоя все время уменьшается, что, несомненно, влияет на ход процесса в худшую сторону. В то же время противоточный процесс обеспечивает более надежное воспламенение топлива, поступающего в горящий слой, так как передача тепла для его нагрева осуществляется конвекцией горячих газов и теплопроводностью от раскаленного слоя. Для улучшения условий воспламенения и увеличения интенсивности подсушки и сухой перегонки топлива в случае обращенного процесса целесообразно применять подогрев воздуха и топлива, механическое перемешивание топлива в бункере, отвод паров из бункера в атмосферу.

Заключение. Анализируя достоинства и недостатки всех рассмотренных схем газификации, можно сделать следующий вывод. Для получения бессмольного энергетического газа из древесных отходов наилучшей схемой газификации является схема обращенного процесса с предварительным подогревом топлива и дутья; отводом части паров, образующихся при подсушке

топлива из газогенератора; автоматическим сухим золоудалением с помощью вращающейся колосниковой решетки.

Библиографический список

1. Лямин, В.А. Газификация древесины / В.А. Лямин. – Москва: Лесная промышленность, 1967. – 262 с.
2. Канторович, Б.В. Основы теории горения и газификации твердого топлива / Б.В. Канторович. – Москва: Изд-во АК СССР, 1958. – 598 с.
3. Иванова, И.В. Анализ методов термической переработки биомассы в газогенераторных установках / И.В. Иванова, А.А. Куликов, М.М. Иванов, В.А. Прохоров // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021.– 612 с. – С. 171-179.
4. Альтшулер, В.С. Новые процессы газификации твердого топлива / В.С. Альтшулер. – Москва: Недра, 1976. – 280 с.
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.

Сведения об авторах

ФИО Иванова Ирена Викторовна
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 Н.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес организации 190000, Б. Морская, д.67, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail iv-nikola@mail.ru

Аннотация

С целью интенсификации процессов газификации было проведено патентно-информационное исследование. В зависимости от конкретного технического воплощения в реальных газогенераторах различных стадий организации процесса газификации выделен целый ряд схем для организации процессов газификации.

Ключевые слова: газогенератор, восстановительные реакции, газификация твердого топлива, газификация пылевидного топлива, горючий газ, смола.

УДК 620.91

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 62.35.33

Анализ стадий газификации древесной биомассы

Иванова И.В., Иванов Н.М.

Введение

Эффективное использование древесных отходов в качестве топлива до настоящего времени не налажено. Причиной этому является отсутствие высокоэффективного топочного устройства, предназначенного для сжигания древесных отходов различных размеров и различной влажности. Одним из возможных путей использования древесных отходов в качестве энергетического топлива может быть предварительная его газификация. Преимущество же использования газообразного топлива вместо твердых древесных отходов очевидно. Газообразное топливо легко транспортируется к месту потребления. Полнее идет процесс его сгорания, упрощается технологическое оборудование, интенсифицируются производственные процессы, обеспечивается сокращение загрязнения окружающей среды. Газификации может быть подвергнуто любое углеродсодержащее твердое топливо. При этом могут быть получены газы разнообразные по составу и теплоте сгорания.

Благодаря своим физико-химическим свойствам древесное топливо легко газифицируется. Как свидетельствуют опыты [1, 2, 3] в процессе газификации может быть получен газ с достаточно высокой теплотой сгорания. С учетом положительных особенностей, имеющих место при сжигании генераторного газа и отмеченных выше, его использование в качестве энергетического газа экономически выгодно. В пользу последнего говорит и тот факт, что огромное количество древесных отходов, получаемых на предприятиях лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности, в большинстве своем остается на лесосеке или выбрасывается на свалки. В последнем случае предприятие несет определенные расходы по транспортировке древесных отходов к месту свалки и обработке их на свалке.

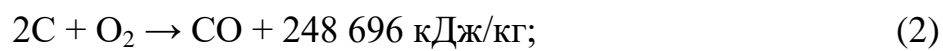
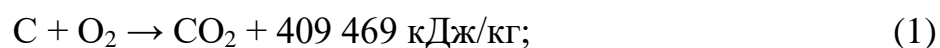
В то же время из древесных отходов может быть получен высококалорийный энергетический газ. Его использование в качестве топлива может частично или даже полностью удовлетворить потребности отдельных предприятий лесной отрасли в тепловой энергии.

Целью работы является исследование процесса газификации древесных отходов для получения из них бессмольного энергетического газа.

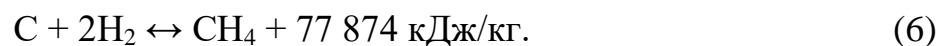
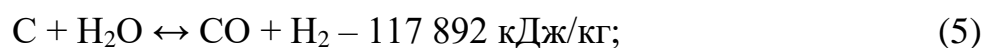
Для правильной организации технологического процесса газификации необходимо учитывать свойства используемого топлива. В этом плане древесина выгодно отличается от остальных натуральных твердых топлив. В силу своей физико-химической природы она легко газифицируется. Это объясняется целым рядом причин:

1. Высокое содержание летучих веществ, т.е. продуктов термического разложения органической массы древесины (85...90% на сухую массу);
2. Легкость выделения летучих из древесины;
3. Высокая термическая и механическая прочность и отсутствие спекаемости древесного угля. Это обуславливает сохранение его структуры при газификации, что необходимо для обеспечения равномерности процесса, снижение потерь с уносом;
4. Низкая температура воспламенения и высокая химическая активность древесного угля;
5. Малая зольность древесины (< 25%).

С физической точки зрения процесс газификации представляет собой воздействие кислородсодержащих газов, например, воздуха, кислорода, водяного пара на твердое топливо при высоких температурах, в результате чего последнее переходит в газообразное состояние. Любой газогенератор можно разбить на ряд характерных зон, в которых происходят присущие только им физические процессы. В зоне подачи дутья (окислительная зона) происходит взаимодействие раскаленного углерода и кислорода воздуха по реакциям:



В восстановительной зоне благодаря отсутствию кислорода воздуха и влияния нагретых молекул углерода идут реакции восстановления и образования метана:



В газогенераторах, использующих в основном реакцию (4), получается так называемый воздушный газ (сухое воздушное или кислородное дутье и малое количество гигроскопической влаги). По реакции (5) получают водяной газ (паровоздушное дутье).

При газификации древесных отходов, имеющих, как правило, высокую влажность (35...50% отн.), будут иметь место обе реакции. При этом избыток влаги, не успевшей прореагировать с углеродом, перейдет в генераторный газ в виде паров воды (смешанный газ).

Представляет большой интерес определение состава идеального смешанного газа, т.е. газа, содержащего максимально возможное количество

горючих составляющих. Это возможно при условии равенства тепловых эффектов экзотермической реакции горения (2) и эндотермической реакции разложения водяного пара (5). Тогда общее количество молей полученного газа составит:

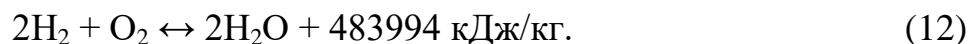
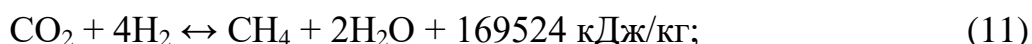
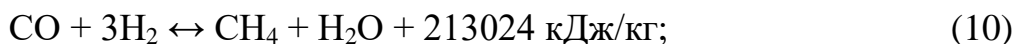
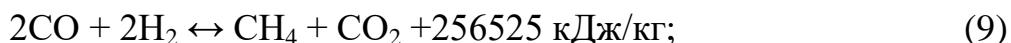
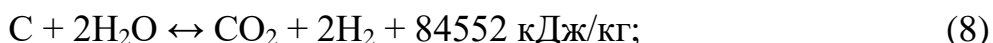
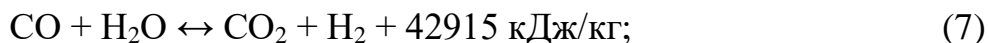
$$\left(2 + \frac{59400}{28150}\right) \cdot C + \frac{59400}{28150} \cdot H_2 + \frac{79}{21} \cdot N_2 = 9,98 \text{ моль.}$$

Отсюда состав идеального смешанного газа:

$$CO = \frac{4,11}{9,98} \cdot 100 = 41,2\% \quad H_2 = \frac{2,11}{9,98} \cdot 100 = 21,1\% \quad N_2 = \frac{3,76}{9,98} \cdot 100 = 37,7\%$$

Данный газ служит верхней границей (по содержанию горючих составляющих) для генераторных газов, получаемых в реальных условиях.

Кроме перечисленных реакций, большое влияние на окончательный состав газовой фазы оказывают вторичные реакции:



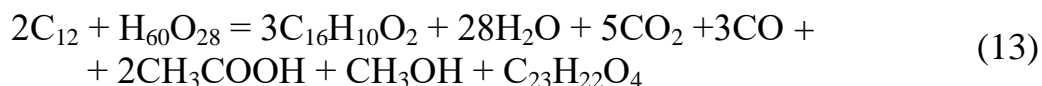
Реакция конверсии окиси углерода водяным паром (7), в связи с близким тепловым эффектом сгорания H_2 и CO , незначительно сказывается на суммарной теплоте сгорания генерируемого газа, изменяя лишь соотношение CO и H_2 в газе, что важно при получении синтез-газов. Реакция (8) идет при избыточном количестве водяного пара. Образование метана по реакциям (9) – (11) эффективно идет примерно при $400^\circ C$. В самом газогенераторе они практически не имеют места, но при выходе из него, остывая, неизбежно проходят через эту температуру. Тогда часть скрытой химической энергии газа будет безвозвратно израсходована на образование CH_4 и H_2O .

Одновременно, согласно принципу Ле-Шателье [4], равновесие в восстановительных реакциях при понижении температуры смещается в сторону исходных продуктов. Образующийся при этом углерод выделяется в виде сажи. Во избежание этих нежелательных явлений генераторный газ необходимо охладить за возможно короткий промежуток времени до температуры $250...300^\circ C$. В этом случае скорости обратных реакций резко падают.

Верхние слои топлива не участвуют в основном газогенераторном процессе. Однако благодаря излучению тепла раскаленной окислительной зоны, а также за

счет физической теплоты движущегося нагретого газа, загруженное в газогенератор топливо прогревается и подсушивается по мере своего продвижения к кислородной зоне.

Процесс сухой перегонки древесины; без доступа кислорода начинается при температуре 160 °С и заканчивается примерно при 400 °С, протекая по уравнению [4, 5]:



В процессе перегонки получают воду, углекислоту, окись углерода, уксусную кислоту, смолы и др. вещества.

Заключение.

Установлено, что на окончательный состав генераторного газа решающее влияние оказывают следующие факторы:

- вид топлива, его реакционная способность;
- размер частиц топлива;
- высота зоны реагирования (активной зоны);
- температура и скорость дутья;
- содержание кислорода и водяных паров в дутье;
- давление, при котором осуществляется процесс.

Как уже отмечалось, древесные отходы представляют собою прекрасный материал для газификации, а древесный уголь, обладает высокой реакционной способностью.

Библиографический список

1. Лямин, В.А. Газификация древесины / В.А. Лямин. – Москва: Лесная промышленность, 1967. – 262 с.
2. Канторович, Б.В. Основы теории горения и газификации твердого топлива / Б.В. Канторович. – Москва: Изд-во АК СССР, 1958. – 598 с.
3. Иванова, И.В. Современные методы получения энергии из биомассы / И.В. Иванова, В.Е. 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. Глинка, Н.Л. Общая химия: учебное пособие для вузов / Н.Л. Глинка. Под ред. А.И. Ермакова, изд. 29-е, испр. – Москва: Интеграл-Пресс, 2002. – 728 с.
5. Иванова, И.В. Анализ методов термической переработки биомассы в газогенераторных установках / И.В. Иванова, А.А. Куликов, М.М. Иванов, В.А. Прохоров // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 612 с. – С. 171-179.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова Ирена Викторовна
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 Н.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный университет
аэрокосмического приборостроения
Адрес 190000, Б. Морская, д.67, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код —
e-mail iv-nikola@mail.ru

Аннотация

Проведено исследование с целью выявления высокоэффективных способов газификации разных видов древесных отходов при различных условиях (влажности, фракционного состава и др.) На основе анализа существующих схем газификации твердого топлива была выбрана схема обращенного процесса, как наиболее полно отвечающая требованиям получения бессмольного энергетического топлива.

Ключевые слова: древесная биомасса, газификация, воздушный газ, водяной газ, бессмольный энергетический газ.

УДК 620.91

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 62.35.33

К вопросу об использовании газогенератора для промышленного производства тепловой энергии

Иванов Н.М., Спиридонов С.В., Иванова И.В.

Введение

Природный газ – это бюджетный источник энергии для системы отопления. Но в настоящее время газ стоит не так уж и дешево. Поэтому некоторые домовладельцы предпочитают использовать в системах отопления альтернативные газогенераторы, работающие на дровах или опилках. Также источником этого ценного продукта могут стать дрова, торф, отходы деревообработки, уголь и даже отдельные виды мусора, например, куски снятого паркета, непригодный для дальнейшего использования и т.д. Горючий газ, столь необходимый для отопления домов, приготовления пищи, в качестве топлива для автомобилей и прочих полезных устройств, можно добыть не только из-под земли, но и другими способами [1].

Быстрое сжигание дров на открытом воздухе дает, главным образом, некоторое количество полезного тепла. Но совсем иначе древесина ведет себя при так называемом пиролизном сжигании, т.е. при горении в присутствии очень

малого количества кислорода. В такой ситуации наблюдается не столько горение, сколько тление древесины. А полезным продуктом этого процесса является не тепло, а горючий газ. Генераторного газ – горючий газ или газовая смесь, содержащая оксид углерода CO и молекулярный водород H₂. Генераторный газ получают путём пропускания воздуха над раскалённым каменным углём или коксом (или другим видом твердого топлива) в специальных печах – газогенераторах (КПД процесса 65...70 %) [2]. Отсюда и название – генераторный газ. Далее оксид углерода смешивается с водяным паром, и в ходе химической реакции получается водородная составляющая генераторного газа. Выход из кокса составляет 4,65 нм³/кг. Если к газогенератору для процесса горения подводят только воздух, получается воздушный газ. При подводе поочерёдно воздуха и паров воды или совместной паровоздушной смеси получается смешанный газ. При пропускании через раскалённый уголь водяного пара получается водяной газ. Эти газы различаются содержанием горючих компонентов CO и H₂.

При медленном горении древесины (пиролизе) на выходе получается смесь, содержащая следующие продукты: метан (CH₄), водород (H₂), оксид углерода (он же CO или угарный газ), различные предельные углеводы, углекислый газ (CO₂), кислород (O₂), азот (N₂), водяной пар (H₂O).

Только часть этих ингредиентов подходят для горения, а именно: CO, CH₄, H₂, N₂. Они являются горючими газами, все остальное – это загрязнения или негорючий балласт, от которого надо избавляться. Поэтому нужно не просто сжечь дерево в специальной установке, но и очистить, а также охладить полученную газовую смесь.

Газогенераторы некогда активно использовались в качестве поставщика топлива для автомобилей. Пример грузовика, который ездил с такой установкой в военное и послевоенное время, является ГАЗ-42. Схема устройства газогенераторной установки на данной машине и общий вид прототипа представлены на рис. 1 и 2. Из плюсов данной установки – это доступность и возможность использования различного сырья для пиролиза. Что было главным достоинством установки во времена, когда был дефицит жидкого топлива.

У данного типа установки есть и недостатки:

- снижение до 40% мощности двигателя из-за недостаточной концентрации горючего газа в смеси;
- уменьшение грузоподъёмности автомобиля из-за расположения громоздких агрегатов установки;
- большой расход топлива, по сравнению с бензиновым двигателем.



Рисунок 1. Газогенераторный ГАЗ-42 лесовоз

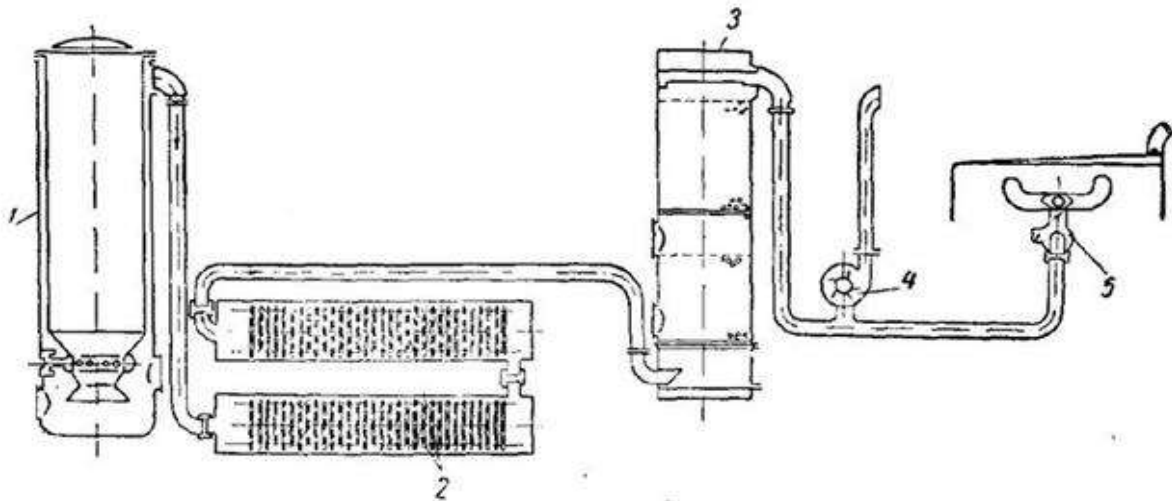


Рисунок 2. Схема газогенераторной установки ГАЗ-42 для работы на древесных чурках:
 1 – газогенератор; 2 – грубые очистители-охладители; 3 – фильтр тонкой очистки газа;
 4 – вентилятор розжига; 5 – смеситель

Теперь рассмотрим промышленные установки, рис. 3 и 4. Здесь процесс рабочий процесс реализован в совершенно другом объёме и позволяет питать объёмные электрические генераторы (рис. 4).

В условиях промышленного производства процесс пиролиза включает следующие этапы:

- сжигание твердого топлива в присутствии малого (около 35% от нормы) количества кислорода;
- первичная грубая очистка, т.е. отделение летучих частиц в циклонном вихревом фильтре;
- вторичная грубая очистка, при которой газ очищается с помощью водяного фильтра, используется так называемый скруббер-очиститель.



Рисунок 3. Комплекс для получения генераторного газа, г. Самара



Рисунок 4. Газогенератор, питающий электрический генератор

Газогенераторы исключительно удобны в использовании. Если агрегат сделан правильно, с соблюдением всех технических требований, в него можно очень редко загружать топливо. К примеру, загружать в камеру дрова только один раз в день, а если в качестве топлива используется древесный уголь, достаточно будет и одного раза в неделю. Но это относится к устройствам промышленного изготовления.

Древесина – доступный материал, особенно на предприятиях лесной отрасли. В загрузочную камеру газогенератора можно подавать и дрова, и щепу, и прессованные опилки, и любые отходы лесной промышленности, и целлюлозосодержащие материалы. Прекрасно подходит в качестве топлива сухой и легкий древесный уголь. Если габариты бункера достаточно велики, появляется возможность загружать дрова даже без предварительной колки, целиком.

Полученный в результате горения продукт, горючий газ, можно использовать для решения различных задач:

- обогрев дома;
- работа ДВС автомобиля;
- выработки электроэнергии (питание газового электрического генератора).

Но стоит упомянуть и недостатки газогенераторной установки, а именно:

- несмотря на то, что промышленная модель газогенератора является надежной, безопасной и удобной, но стоит достаточно дорого. Не всякий владелец дома или дачи может позволить себе подобный агрегат. Но и создание самодельного газогенератора даже из подручных материалов может получиться в кругленькую сумму;
- в процессе газификации теряется около 50% тепловой энергии.

Оптимальным топливом для газогенератора, по мнению специалистов, является уголь, при этом подойдёт только определённый тип. При его сгорании на испарение влаги уходит минимальное количество энергии, что позволяет ускорить процессы пиролиза. Если брать сырую или смолистую древесину, она быстро забивает газогенератор и выводит из строя фильтры.

Заключение. В результате работы произведен анализ принципа работы газогенераторной установки, которая может использовать такое сырьё, как древесные отходы, чурки, уголь, остатки пиломатериалов и др. У установки есть как и плюсы, так и минусы, но вывод можно сделать один – данный тип установки будет востребован в тех местах, где присутствует дефицит жидкостного и других источников топлива.

Библиографический список

1. Дровяной газогенератор своими руками. – URL: <https://kachestvolife.club/gaz/drovyanoy-gazogenerator-svoimi-rukami-kak-sdelat-drevesnyu> – (дата обращения 20.02.2022).
2. Газовые генераторы для дома, URL: <https://plitkahoff.ru/materialy/generatornyj-gaz.html> – (дата обращения 03.03.2022).

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	—
e-mail	iv-nikola@mail.ru
ФИО	Спиридонов Сергей Васильевич
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	Иванова Ирена Викторовна
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 данной работе рассмотрен вариант альтернативного вида топлива, а именно горючего газа, полученного в результате пиролизного сжигания древесины и другого сырья, закладываемого в специальное устройство, имеющее название – газогенератор. Данный вид топлива является альтернативным источником горючего топлива в случае, если сможет помочь решить проблему с обеспечением отопления помещений, либо топливом автотранспорта в тех местах, где наличие углеводородного топлива является дефицитом.

Ключевые слова: газогенератор, генераторный газ, КПД, пиролиз, горючий газ, получение альтернативного топлива, пиломатериал, древесина, газогенераторный процесс.

УДК 662.76

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 61.53.19

Современные подходы при конструировании бытового газогенератора

Иванов Н.М., Спиридонов С.В., Иванова И.В.

Введение

Человечество за историю своего существования научилось добывать нефть и газ, изобрело электричество, научилось использовать энергию ветра и солнца, но по настоящее время сжигает в топках древесину. Дрова, опилки, старое дерево, отходы деятельности деревообрабатывающих предприятий – всё это сырьё можно использовать для переработки в тепловую энергию путём получения горючего газа. Но для получения газа, таким образом, понадобится приобрести специальное устройство, которое называется газовый генератор, или сокращённо газген [1, 2].

Рассмотрим рынок заводских вариантов газгенов, которые можно приобрести. В основном это промышленный сегмент, цены которого начинаются от 1,6 млн. рублей. А если необходим газген для бытового использования? Тогда можно сделать дровяной газогенератор своими руками из подручных средств, который будет достаточно бюджетный при производстве энергии, более компактный, и позволит выполнять задачи в хозяйстве, например, осуществлять подключение установки к ДВС автомобиля (рис. 1) или питание электрогенератора для выработки электричества (рис. 2).

Газогенераторы некогда активно использовались в качестве поставщика топлива для автомобилей. Но и сейчас можно изредка встретить машины, работающие на вырабатываемом ими газе, рис. 1.



Рисунок 1. Газогенераторная установка на грузовой технике

Самодельные устройства для использования в бытовых условиях будут проще в конструкции, а также занимать меньше места, но принцип их работы, а также конструкция очень похожи на газогенератор промышленного производства.

В результате предварительной проработки технических решений получены следующие результаты. На рис. 3 представлена принципиальная схема сборки газогенератора из доступных даже в личном хозяйстве средств, а именно:

- баллон газовый (ранее использованный и обязательно опустошённый от газа и с открученным вентилем);
- петля для крышки;
- труба железная, водопроводная с диаметром $d = 50$ мм, но возможно использование трубы и с другими диаметрами, те, что имеются в бытовом хозяйстве;
- арматура или железные прутки (для колосника).

Принцип работы такого собранного бытового газогенератора: открывается верхняя крышка, и загружаются в неё дрова или угли на колосники. После открывается вентиль для розжига и поджигается топливо в котле. Для ускорения пиролиза можно воспользоваться вентилятором с крыльчатками, для лучшего

раздува. После того, как топливо начало гореть, отключается вентилятор (если подключали), и закрывается клапан розжига до момента, когда топливо начнёт гореть очень слабо, почти тлеть (в этом и есть особенность пиролиза, при тлении выделяются нужные компоненты горючих газов в единую смесь).

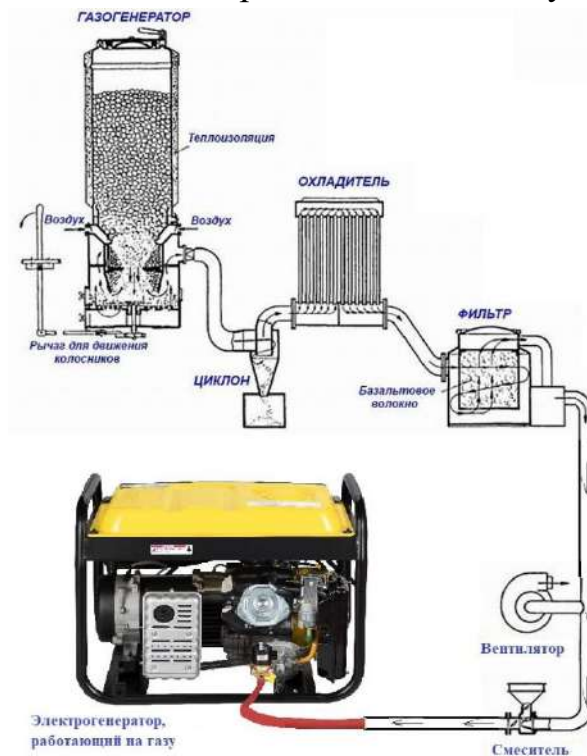


Рисунок 2. Подключение газогенератора к электрогенератору, работающему на газу

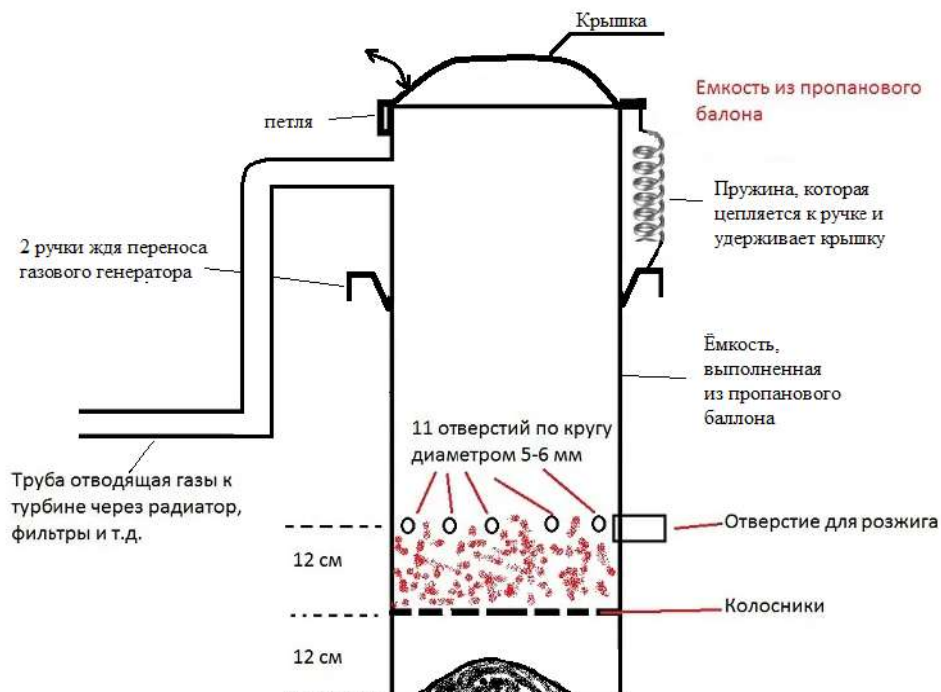


Рисунок 3. Подключение газогенератора к электрогенератору, работающему на газу

Та же принципиальная схема на рис. 2 представлена в объёмных моделях газогенератора: общий вид (рис. 4) и в разрезе (рис. 5).

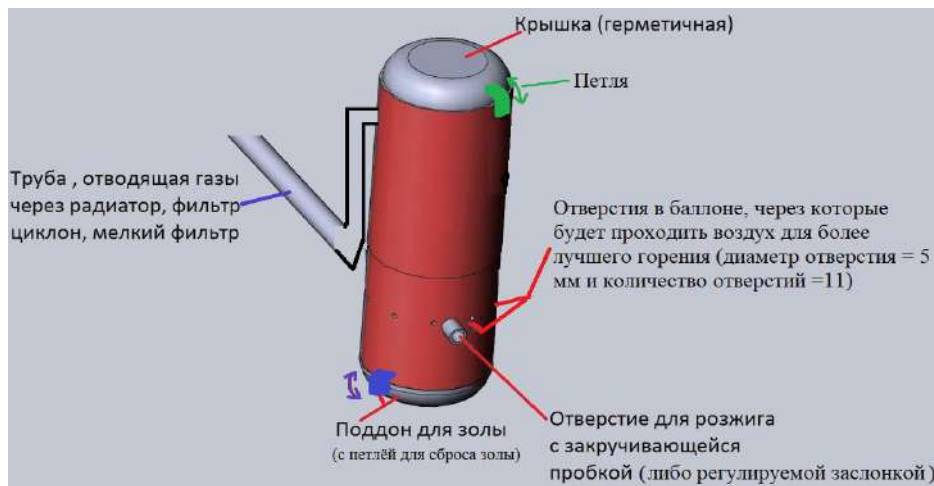


Рисунок 4. Подключение газогенератора к электрогенератору, работающему на газу



Рисунок 5. Вид самодельного газгена в разрезе

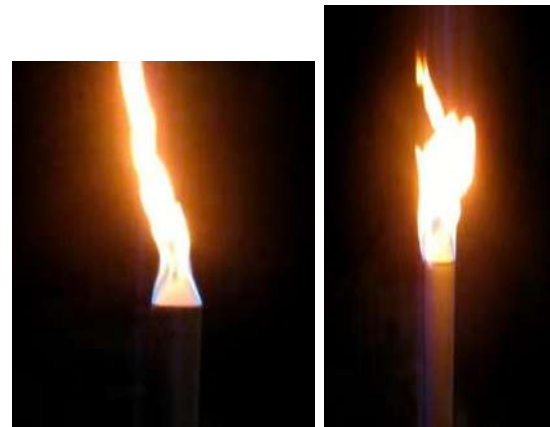


Рисунок 6. Результат пиролиза из газового генератора

После 10...15 минут получается концентрированная смесь, которая выходит из котла к выходной трубе. Если горелкой поджечь газовую смесь, которая выходит из выходной трубы газгена, то должно загореться пламя, как на рис. 6. Если такое пламя есть, значит, газген работает корректно. Работу самодельного газогенератора следует тщательно контролировать, так как температура горячего газа может быть очень высокой и есть опасность возникновения пожара при несоблюдении техники безопасности. Соответственно при разработке устройства конструктивно рассчитаны все особенности котла и стенда в целом для безопасной работы установки.

Если газген работает исправно, тогда установку можно подключать по схеме, как на рис. 7. Элементы схемы, такие как:

- фильтр типа «Циклон»;
- фильтр тонкой очистки;
- охладитель газовой смеси;
- смеситель «Газовая смесь/воздух»;
- вентилятор для создания начальной тяги в системе.

Рисунок 7. Схема подключения

Вышеперечисленные элементы выбираются и соединяются теми способами, которые доступны для реализации установки. В роли охладителя можно использовать автомобильный радиатор, или радиатор отопления для дома. В виде фильтра тонкой очистки можно реализовать фильтрацию через воду или использовать минеральную вату. В роли смесителя отлично подойдёт сантехнический кран батареи.

Однако необходимо учитывать некоторые особенности эксплуатации и предстоящие возможные доработки:

- если газген будет приводить в работу двигатель внутреннего сгорания, тогда надо использовать в качестве топлива уголь типа антрацит или уголь полукокс. Если использовать древесный уголь, который продаётся в магазине, результат будет не самым лучшим, как в плане КПД, так и для блока цилиндров с поршневой группой. В древесном угле очень мало летучих горючих (которые дают горючий газ), так как их выжигают при изготовлении угля. И в результате в такой газовой смеси будет много примесей и негорючих остатков, которая может повредить двигатель;
- нужно очищать горючий газ от влаги. При сгорании топлива образуются пары воды, которые частично конденсируются в охладителе как на рис. 8 и поступают с горючим газом в двигатель, либо в установку, питающуюся данной смесью. Это ухудшает горение, как следствие, уменьшается КПД процесса работы установки или двигателя, даже с возможностью преждевременной остановки процесса. Поэтому нужно охладить горючий газ в змеевике ниже температуры точки росы, чтобы все пары воды сконденсировались в нём. А также организовать непрерывный отвод конденсата из змеевика – к примеру, поставить поплавковый конденсатоотводчик;
- для лучшего поддержания температуры процесса пиролиза можно обшить верхнюю корпус газгена минеральной ватой, и необходимое газовой смеси тепло не будет уходить в атмосферу;
- увеличить объём котла газгена, если есть установка или ДВС большого рабочего объёма для получения большего объёма газовой смеси.

Самодельный газогенератор

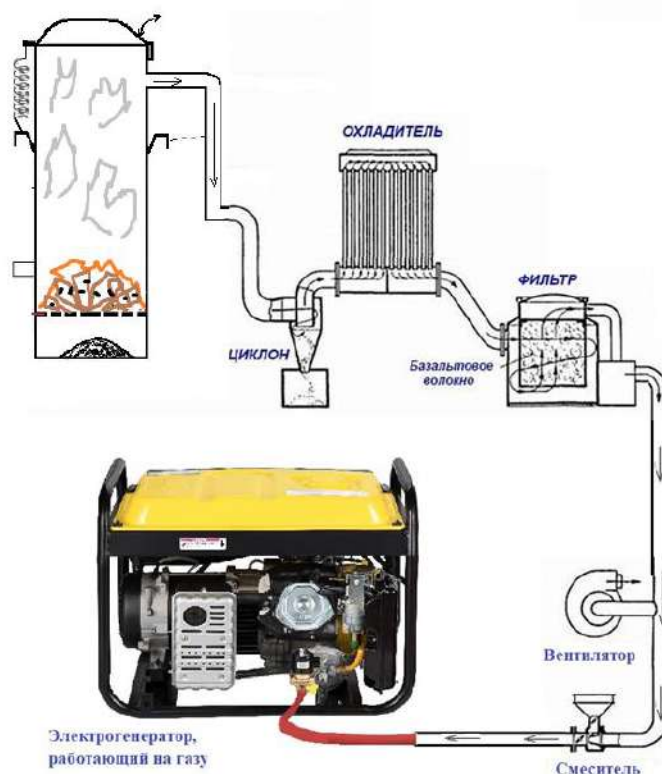


Рисунок 8. Использование самодельного газгена в схеме, отвечающей за подачу топлива на электрогенератор

Заключение.

В результате данной работы произведен анализ конструкции бытового газогенератора. Данная установка бюджетная относительно промышленных прототипов и выполняет тот же функционал – выработку горючего газа как вида топлива для выработки тепловой энергии для хозяйственных нужд. Данная установка будет особенно востребована в тех местах, где имеются проблемы с доступностью, либо с сезонной зависимостью от жидкого или твердого топлива, но зато имеется возможность круглогодичного использования древесины или отходов деревообработки.

Библиографический список

1. Как сделать древесный газогенератор своими руками: самоделки на дровах и опилках, URL: <https://sovet-ingenera.com/gaz/equip/drovyanoj-gazogenerator-svoimi-rukami.html> – (дата обращения 20.02.2022).
2. 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	Иванов Н.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес организации	190000, Б. Морская, д.67, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код	—
e-mail	iv-nikola@mail.ru
ФИО	Спиридонов Сергей Васильевич
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	Иванова Ирена Викторовна
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 ходе работы было исследовано устройство, вырабатывающее горючий газ и имеющий название – газогенератор. Данная установка рассмотрена с точки зрения выполнения из доступных материалов, а также то, что является оптимальной по параметрам «цена/результат», что позволит запитать определённые установки, такие как двигатель внутреннего сгорания или электрический генератор. Это решит проблему с доступностью топлива в местах, где использование обычных углеводородов затруднительно.

Ключевые слова: газогенератор, альтернативное топливо, газогенератор, пиролиз, горение.

УДК 662.76

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 61.53.19

Обобщенные результаты по исследованиям транспортных газогенераторов

Иванов М.М., Иванов Н.М.

Введение

Использование транспортных газогенераторных установок достигло максимума во время II-й мировой войны, когда их общее количество достигало более миллиона по всему миру. Газогенераторы нашли широкое применение на автомобилях, тракторах, мотоциклах, речных судах, катерах и железнодорожных тяговых машинах [1].

Целью работы является анализ актуальности использования транспортных газогенераторных установок.

Анализируя рисунок (диаграмма 1) видно, что интерес к использованию технологий термохимической конверсии растительной биомассы напрямую зависел от рыночных цен на нефтепродукты. Проводимое исследование показывает, что число патентов, заявленных на транспортные газогенераторные установки, было наибольшим в 1979 и 2004 годах, после спада активности в 1950-х и 1960-х. Интересно отметить различие между ранними периодами высокого интереса в данной области и существующей ситуацией последних 3-х десятилетий. Ранее увеличение научного интереса следовало за увеличением количества газогенераторных установок в практическом использовании. Современные же интенсивные научные изыскания пока еще не характеризуется большой практической и коммерческой активностью. Это связано, прежде всего, с характеристикой систем энергетики и экономики промышленно развитых и развивающихся стран.

В промышленно развитых странах твердотопливные газогенераторы применяются в основном для двигателей внутреннего сгорания. Для транспортных машин – в тех отраслях промышленности, где есть излишки остаточной биомассы (в сельском и лесном хозяйствах). Электричество же, производимое центральными электростанциями, обеспечивает потребности энергоемких секторов промышленности.

Несомненным лидером в развитии этих технологий сегодня является Швеция, принявшая официальное решение о проведении подготовки к переводу сельскохозяйственных и некоторых других транспортных средств на древесное топливо [2]. Незначительная разница в стоимости древесных отходов и нефтепроизводных топлив и электричества в этой стране создала неблагоприятную экономическую атмосферу для развития технологий газификации древесины. Для решения этой проблемы правительство Швеции решило увеличить налоги на ввозимое топливо и предоставлять дотации на приобретение транспортных средств, использующих древесное топливо. Такая практика присуща и другим развитым странам. Подобные мероприятия полезно было бы проводить и в России, особенно в районах, часто подвергаемых стихийным бедствиям.

Диаграмма 1. Динамика проведения исследований в области транспортного газогенераторостроения.

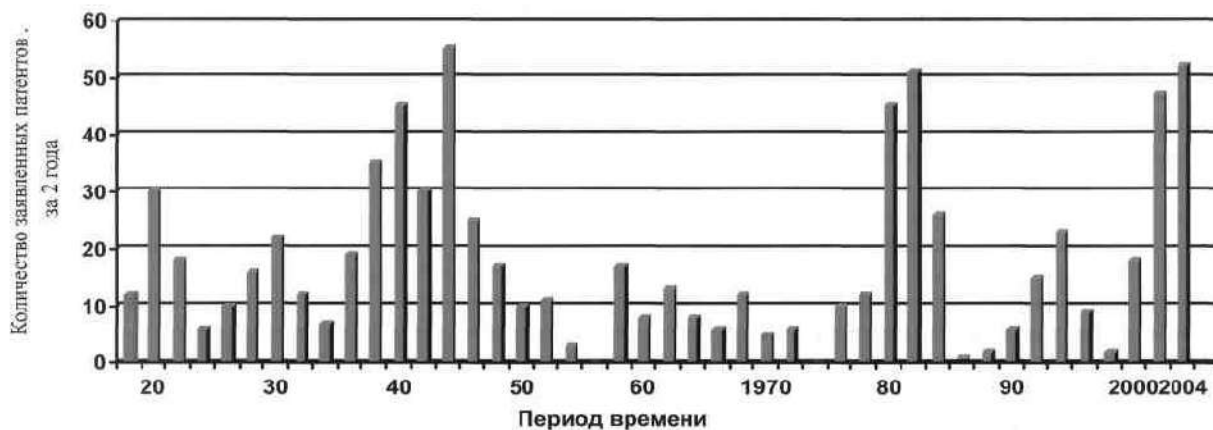


Диаграмма 2. Динамика проведения исследований в области транспортного газогенераторостроения в СССР (СНГ).

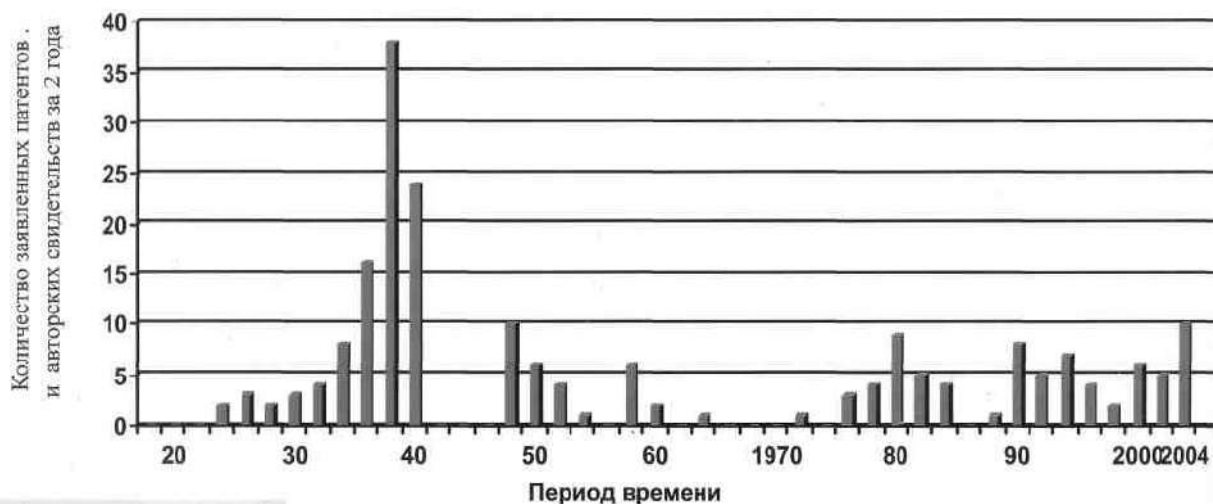


Рисунок. Динамика проведения исследований в области транспортных газогенераторов

Энергетика большинства развивающихся стран характеризуется тем, что двигатели внутреннего сгорания широко используются в качестве генераторов электроэнергии. Особенно это актуально в сельских местностях. Такая ситуация обусловлена отсутствием в этих странах разветвленной системы энергоснабжения. Технология газификации твердых топлив для двигателей внутреннего сгорания имеет здесь свою специфику.

Существенное различие структур энергетики в разных странах объясняет, почему в промышленно развитых странах имеется пониженный интерес к использованию биомассы в качестве топлива, а у развивающихся стран, наоборот, очень высокий интерес к развитию технологий газификации биомассы.

Среди развивающихся стран несомненными лидерами в развитии технологии газификации биомассы являются: Бразилия, Филиппины, Индия, Китай, ЮАР, Куба, Мали, Кения, Бурунди и Мадагаскар [2]. Там развитие этой технологии закреплено правительственными программами. Делается это с целью ослабления зависимости экономик перечисленных государств от топливного

импорта. В качестве топлива в этих странах используется преимущественно древесный уголь. Хорошие перспективы коммерциализации газогенераторных установок именно на древесном угле объясняются чрезмерным содержанием смол в газе, полученном при непосредственной газификации древесины. Кроме того, процесс по лучению угля во многих странах уже налажен.

Наиболее активно технология газификации древесного угля развивается на Филиппинах, в Индии, Бразилии, Кубе и в ЮАР. При этом, опыт ЮАР особенно интересен. В ЮАР отсутствуют собственные запасы нефти и газа, но есть большие залежи каменного и бурого угля. В 1975 г. на страну было наложено эмбарго, что привело к сокращению до минимума потребления нефтепроизводных топлив. При этом все отрасли промышленности, которые только можно, были переведены на генераторный газ, получаемый из угля. Сегодня генераторный газ там также широко используют, и не только как автомобильное топливо, а и для выплавки чугуна, стали, на электростанциях и теплоцентралях.

В развивающихся странах причины, препятствующие широкому использованию технологий газификации биомассы, весьма различны. Как показали исследования [2], проведенные на Филиппинах и в Бразилии, использование древесины в качестве топлива к двигателям внутреннего сгорания может быть экономически рентабельно в странах с низкими трудовыми затратами. И особенно в регионах с высокими ценами на нефть (например, Мадагаскар). Тем не менее, использование биомассы в качестве топлива во многих развивающихся странах с огромным технико-экономическим потенциалом для развития технологий газификации затруднительно или даже невозможно по политическим причинам (о. Тимор, Сьерра-Леоне и пр.). Другое препятствие использованию биомассы для выработки газа вызвано отсутствием научно-технического задела и недостатком коммерчески доступного оборудования для его производства. Третья, не менее важная преграда – это отсутствие необходимых инвестиций и разветвленного рынка поставки топлива потребителям (нет раздаточных станций древесного угля и т.п.).

В России газогенераторы массово не используются. Однако в Эстонии (г. Кохтла-Ярве) работает завод газификации горючих сланцев, которые в большом количестве добываются в северо-восточных районах страны. Генераторного газа вырабатывается столько, что для его транспортировки был построен 400-километровый газопровод в город Таллинн. В Эстонской столице на генераторном газе работают многие городские котельные [3].

В СНГ разработкой газогенераторных технологий занимается несколько организаций: в Беларуси - под патронатом ПРООН/ГЭФ осуществляется проект №ВУЕ/03/G31 «Энергия биомассы для отопления и горячего водоснабжения в

Республике Беларусь», который реализуется Белорусским государственным аграрным техническим университетом «БАТУ»; в России – ЗАО «ИМПЕТ» производит газогенераторы на базе разработок института проблем Химической физики Российской Академии Наук [2].

XXI столетие предвещает автомобильным газогенераторам широкое распространение [4]. Хотя сам процесс газификации твердого топлива не новый, но только сейчас изобретены и разработаны технологии, которые существенно повышают не только скорость протекания процесса газификации, но и качество газификации самого топлива. Сейчас КПД обычной газогенераторной установки достигает 85%, что обеспечивает перевод автомобиля на генераторный газ с незначительной потерей мощности [4]. Таким образом, современные автомобильные газогенераторные установки по своим техническим параметрам приближаются к лучшим образцам традиционных бензиновых систем. В недалеком будущем абсолютно реально будет использовать в качестве автомобильного топлива бурый уголь, торф, отходы производства лесной и деревообрабатывающей промышленности, отходы пластмассы и, наконец, просто бытовой мусор.

К преимуществам современных газогенераторных технологий можно отнести практически полное сгорание топлива, высокую производительность и относительно низкую стоимость генераторного газа. Кроме того, высокая экологическая безопасность газогенераторных автомобилей особенно актуальна сегодня, когда на дорогах нашей планеты курсирует более 1,5 миллиардов автомобилей [3, 4], выбрасывающих в атмосферу за час езды от 3 (легковые) до 7 (грузовые) килограммов окиси углерода и массу токсичных веществ. При этом ежегодный выпуск автомобилей в мире уже достиг 40 миллионов штук. И это – не учитывая постоянно растущий парк лесозаготовительной, сельскохозяйственной и разного рода дорожной автотехники, тоже работающей на бензине. Поэтому переход на топливо, позволяющее снизить токсичность выхлопных газов на 60...70%, был бы весьма целесообразен даже при некотором снижении комфорта обслуживания машин. В этой связи технологии термохимической конверсии растительной биомассы ожидает новый подъем.

Наряду с описанными преимуществами, современные транспортные газогенераторы имеют ряд нерешенных технических и технологических проблем. Так, например, подготовка системы для пуска в среднем занимает от 10 мин. и более; требуется частая подача новой порции топлива, что ограничивает время, на которое двигатель может быть оставлен без присмотра. Работа по обслуживанию газогенераторной установки – очистка топливника от пепла и сажи, фильтров от конденсатов – довольно трудоёмкая и грязная. Пока ещё не созданы универсальные транспортные газогенераторные установки, которые

могли бы работать на разных типах топливной биомассы или на ее смесях. Нет методики проектирования транспортных газогенераторных систем, базирующейся на современных представлениях о процессах пиролиза и горения биомассы.

Большой научно-технический задел России в производстве промышленных и транспортных газогенераторов, накопленный в первой половине прошлого столетия (см. рисунок – диаграмму 2), а также высокий промышленный потенциал и огромные запасы возобновляемой биомассы, создают прекрасные предпосылки для дальнейшего совершенствования и развития этой технологии.

Заключение.

Имея перечисленные преимущества, топливная биомасса, тем не менее, пока не имеет реального рынка в России. Это объясняется недоработкой правительственных программ развития альтернативных источников энергии. Проведенные исследования наглядно демонстрируют эффективность инвестиций в развитие автомобильных газогенераторных систем, вычисленную как частное между инвестицией и средней заработной платой конечного потребителя. Так, наибольшая инвестиция в Европе эквивалентна приблизительно 15 рабочим часам/kW, тогда как в России равна 80...200 рабочим часам/kW. Другими словами, если среднестатистический европеец может купить газогенератор средней мощности приблизительно за две свои зарплаты (что, собственно, и делает), то российскому потребителю потребуется копить для этого лет 10. Это объясняет, почему развитие технологии автомобильных газогенераторов в большинстве развивающихся стран практически не ведется, несмотря на свою экономическую рентабельность. Появление описанного нами оборудования у потенциального заказчика зависит в большой степени от возможности у него заимствовать деньги под развитие проекта. Для дальнейшего развития технологии в России необходимо на государственном уровне обеспечить привлекательные схемы кредитования., например, под развитие топливных биотехнологий кредиты выделять на льготных условиях.

Библиографический список

1. Тренклер, Г.Р. Газогенераторы / Г.Р. Тренклер, пер. с нем. и переработка Н. Н. Лазарева. Москва: «Госэнергоиздат», 1933. – 198 с.
2. Грачев, В.В. Перспективы развития биоэнергетики / В.В. Грачев, Р.Б. Марков // Эконом. и соц. перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2009. - №4. – с. 49-60.
3. Васильев, Ю.С. Развитие энергетического сектора и биоэнергетики на Северо-Западе России / Ю.С. Васильев, В.В. Елистратов, Г.И. Сидоренко // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. – 2008. - №1-2. – с.74-86.
4. Машиностроение. Энциклопедический справочник // Мартенс Л. К Т. 11. Конструирование машин. – Москва: «ГНТИМЛ», 1948 г. – 237 с.

Сведения об авторах

ФИО Иванов Михаил Михайлович
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 Иванов Н.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес организации 190000, Б. Морская, д.67, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail iv-nikola@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена динамика развития и использования транспортных газогенераторов. Определены предпосылки по дальнейшему развитию этого направления в нашей стране.

Ключевые слова: транспортные газогенераторы, биомасса, электроэнергия, газификация биомассы, генераторный газ.

УДК 662.76

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 61.53.19

Водородный газовый генератор для лесопромышленного комплекса

Иванов Н.М., Спиридонов С.В., Иванова И.В.

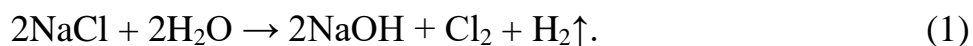
Введение

В настоящее время вопрос об использовании альтернативных источников энергии является серьёзной задачей для инженеров и учёных. Многие страны хотят отказаться от использования углеводородов, для сохранения экологии и использовать данный ресурс не просто для сжигания и получения тепловой энергии, а сжигать углеводороды разумно и целесообразно. Поэтому стоит серьёзный вопрос о реализации экологичных видов топлива, и установках, работающих на сырье, которое легко и удобно добывается и используется, а также по факту имело бы высокое КПД и, главное, было бы экологичным для окружающей среды.

Водород в качестве альтернативного вида топлива является перспективным вариантом, но проблема заключается в том, что он в природе встречается только в виде соединений с другими химическими элементами. Доля «чистого» вещества в атмосфере составляет не более 0,00005% [1]. Учитывая, выше

сказанное, становится актуальным вопрос о водородном генераторе. Рассмотрим принцип работы такого устройства, его конструктивные особенности, сферу применения и возможность самостоятельного изготовления.

Есть несколько методик выделения водорода из других веществ, но один из них – это электролиз. Данная методика наиболее простая и может быть реализована в лабораторных условиях. Через водный раствор, содержащий соль, пропускается постоянный электрический ток, под его воздействием происходит реакция, которую можно описать следующим уравнением [2, 3]:



В данном случае пример приведен для раствора обычной пищевой соли, что не «идеальный» вариант, поскольку выделяющийся хлор является ядовитым веществом. Зато полученный данным способом водород наиболее чистый (порядка 99,9%). Таким образом, при помощи электролиза вырабатывается газ Брауна, который часто обозначают как ННО или гремучий газ – это две части газообразного водорода, и одна часть кислорода в определенном объеме.

Кислород и водород, полученные обычными электролизерами, поставляются в виде O_2 и H_2 . То есть, молекулы обоих газов имеют по два атома. Это более устойчивое состояние этих газов, чем когда отдельные атомы отделены (заряженные ионы) и каждый атом существует по отдельности. Проблема с водородом H_2 и кислородом O_2 как с горючими газами, в том, что до того, как они начнут реагировать, чтобы превратиться в H_2O , они должны быть разложены на атомы Н и О. Требуемая на это энергия составляет большую часть из той, которую можно получить при их взаимодействии для получения H_2O .

Особенность газа Брауна в том, что он существует не в молекулярной форме H_2 и O_2 молекул. Здесь они в одноатомном состоянии (один атом на молекулу). В состоянии, когда водород сгорит (произойдет реакция с кислородом), энергии будет возвращено в 3,8 раза больше. Полученный газ можно применить во многих промышленных, хозяйственных и бытовых отраслях, в частности, в лесопромышленном комплексе, а именно:

- присадка к топливо-воздушной смеси для уменьшения расхода топлива на двигателе внутреннего сгорания (ДВС);
- отопление помещений;
- использование в роли топлива для газовой горелки.

Рассмотрим результаты, которые получены при использовании газа Брауна в ДВС. Одноатомный водород является катализатором для различных видов топлива на основе углеводородов. За счёт этого происходит уменьшение расхода топлива на 20...25%, небольшое повышение мощности и более экологичные выбросы выхлопных газов. Данные были получены в результате

экспериментального опыта на автомобиле Renault Laguna с рабочим объёмом двигателя 2,0 литра, который представлен на рис. 1.



Рисунок 1. Опытный автомобиль с подключенным водородным генератором к ДВС объёмом двигателя 2,0 литра

На рис. 2 представлена схема реализации данной установки, и каким образом она связана с ДВС опытной машины [4].

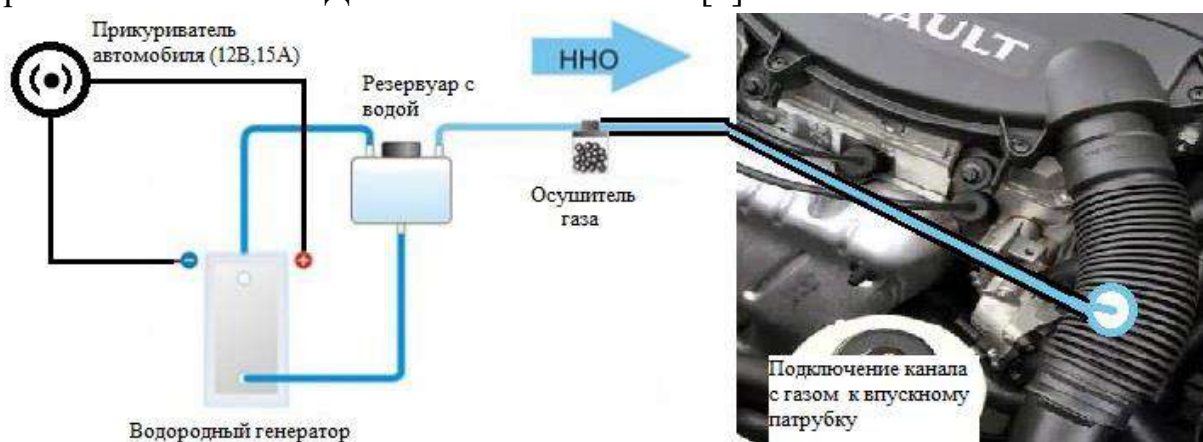


Рисунок 2. Схема реализации и подключения водородного генератора к ДВС опытного автомобиля марки Renault Laguna

Одна из важных особенностей схемы – это простота её подключения. Предложенная схема реализуется для экспериментальных опытов и замеров характеристик после включения водородного генератора. Если есть необходимость поставить водородный генератор на постоянную основу, тогда необходимо реализовать схему подключения от аккумулятора через реле, которое будет срабатывать при включении зажигания в автомобиле. Это делается для удобства повседневной эксплуатации установки. Из особенностей эксперимента есть несколько деталей, без которых работа водородного генератора может быть неэффективна:

1. Необходимо заправить полный бак топлива и сбросить расходомер через бортовой компьютер, иначе электронный блок управления (ЭБУ) автомобиля может продолжить подавать топливо в старом режиме и расход топлива при включённом генераторе не измениться, либо может даже увеличиться;

2. Необходима хорошая герметичность соединений, иначе большой процент газа может не дойти до двигателя, что может ухудшить результаты эксплуатации;

3. Рассчитать количество пластин, а также расстояние между ними в водородном генераторе из значений, позволяющих электрооборудованию автомобиля питать установку без перегрузки электрооборудования, для чего выше рассмотренная установка работала при напряжении 10...11 В и силе тока 3...4 А;

4. До запуска ДВС включить зажигание и дать установке работать некоторое время для того, чтобы установка выработала некоторое количество газа ННО и двигатель запустился, и работал сразу со смесью атмосферного воздуха и газа ННО.

Вышеперечисленные параметры, такие как расход топлива, изменение мощности и экологичность могут меняться в зависимости от состояния ДВС автомобиля, качества работы водородного генератора и даже стиля вождения.

Если рассмотреть вопрос, связанный с отоплением на водороде, то он реализуется при помощи специального котла, который представлен на рис. 3.



Рисунок 3. Водородный котёл для отопления помещений

Такой вид отопления имеет как положительные, так и отрицательные стороны.

К плюсам данных типов котлов, работающих на водороде, относят:

- экологичность топлива, так как продукты горения не оказывают существенного негативного влияния;
- высокий коэффициент производительности по сравнению с котлами, работающими на других видах топлива;
- невысокая стоимость – цена на топливо и систему существенно ниже, чем при использовании других видов топлива;
- отсутствие дымохода – нет необходимости для вывода продуктов горения;
- отсутствие открытой горелки и пламени снижает уровень шума при работе;
- система образует замкнутый цикл, поэтому не требуется периодическое вмешательство человека;
- снижение добычи нефти и газа, которые представляют собой невозобновляемые ресурсы.

К минусам водородных котлов относят:

- небольшая популярность и, как следствие, небольшое количество опытных специалистов, способных быстро и качественно установить оборудование;
- обязательный контроль за количеством воды в котле либо установка дополнительных датчиков, следящих за данным параметром;
- постоянный контроль за давлением, в противном случае повышается риск взрывов и разгерметизации швов;
- поиск топлива, которое в отличие от других видов, не всегда бывает в шаговой доступности;
- относительно высокая стоимость оборудования;
- ежегодная замена некоторых деталей, позволяющих сохранять скорость выработки водорода на необходимом уровне и при этом, к сожалению, многие элементы довольно редкие или дорогие, потому что рынок водородных отопительных котлов находится в стадии становления.

Несмотря на минусы, котел отопления на водороде имеет определённую известность среди соответствующего класта потребителей.

Если произвести анализ установки, которая вырабатывает газ для газовой горелки, то можно сделать следующие выводы. Есть готовые детали или элементы, которые можно легко приобрести и сразу применять по назначению, как например, аппарат водородной сварки на рис. 4. Но у такого решения есть серьёзный недостаток – это цена. Цена одного такого устройства может начинаться от 50...60 тыс. рублей как минимум и расти до нескольких сотен тысяч рублей в зависимости от модели.



Рисунок 4. Аппараты водородной сварки «Лига»
(цена данного образца начинается от 40 000 рублей)

Поэтому ниже, на рис. 5, представлена схема устройства, собранная из подручных средств, которая будет проще, дешевле в сборке и эксплуатации. Схема состоит из таких элементов, как:

- пластины из пищевой нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т. Выбрана именно такая модель стали из-за того, чтобы при электролизе пластины не окислялись и оставался хороший контакт, и проводимость. Размер пластин выбирается произвольно, в зависимости от желаемой производительности;
- герметичная игла медицинского шприца, которая выступает в роли сопла, из которого будет идти пламя, полученное из водорода;
- водяной затвор, необходимый для пожаробезопасности установки. Если делать установку без затвора, то при появлении искры, может произойти так называемый процесс быстрого горения, впоследствии которого произойдёт мелкий взрыв и разрушение электролизера, но благодаря затвору такое не возникнет;
- блока питания, который и позволяет реализовать процесс электролиза. От мощности блока питания зависит скорость электролиза, как следствие количество вырабатываемого газа за определённое время.

Одна из важных особенностей при сборке установки своими руками – это проверка герметичности соединения узлов, иначе результат работы может быть неудовлетворительным. Также в качестве электролита необходимо использовать дистиллированную воду, вместо обычной из-под крана, так как в обычной много примесей, которые будут засорять пластины – электроды, вследствие чего будет плохой процесс электролиза и будет выделяться мало газа. На рис. 6 можно

увидеть, какое получается пламя из шприца после того, как установка выработает достаточное количество газа.

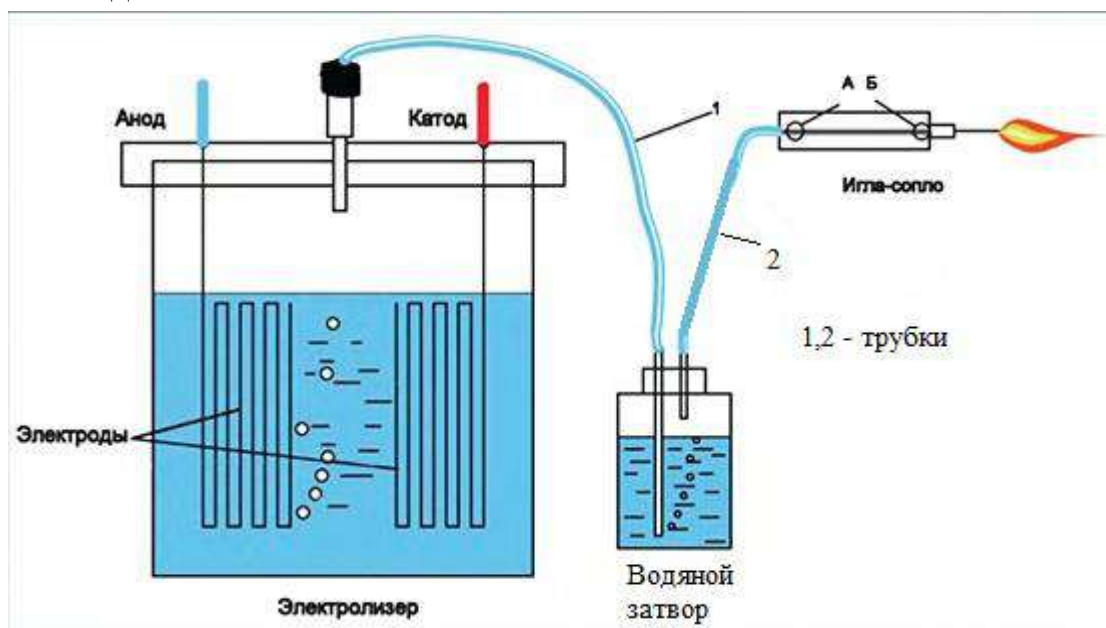


Рисунок 5. Схема самодельной газовой горелки

На рис. 7 представлена работа горелки в действии, а именно в плавлении железного прутка. Можно доработать конструкцию, а именно добавить ещё пластин, для большей выработки газа, как следствие, горелка может стать больших размеров, плавить и отрезать большие куски металл, чем выше рассмотренное устройство. Также можно подобрать блок питания большей мощности, что даст прирост выработки газа Брауна.

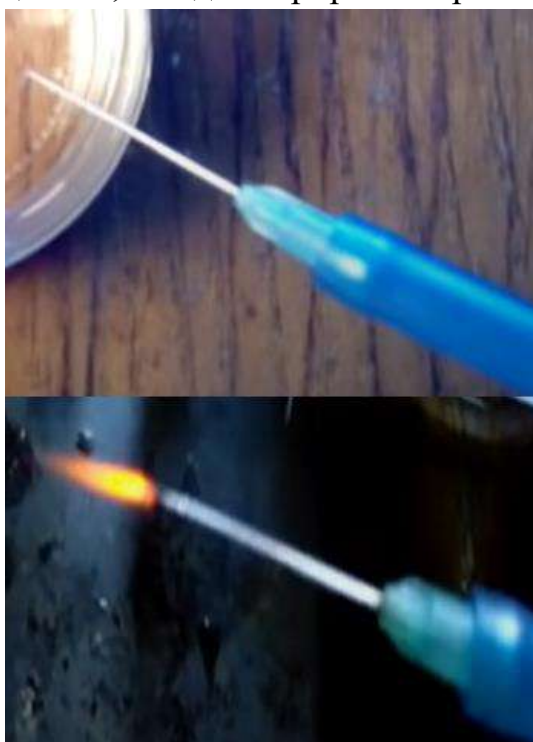


Рисунок 6. Пламя из сопла самодельной горелки



Рисунок 7. Плавление железного прутка самодельной водородной горелкой

Заключение.

Таким образом, было рассмотрено одно из альтернативных видов топлива – газ Брауна, который образовывается путём электролиза. Данный вид топлива имеет свои плюсы и недостатки, но всё же данное направление можно назвать перспективным в плане развития, что позволяет взглянуть на задачи альтернативных видов топлива с новой стороны.

Библиографический список

1. Лебедев, В.В. Водород, его получение и использование / В.В. Лебедев. – Москва: Изд-во Акад. Наук СССР, 1958. – 70 с.
2. 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.
3. Снежков, В.А. Общие вопросы водородной энергетики / В.А. Снежков, И.В. Иванова // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021.– 612 с. – С. 240-250.
4. Как сделать водородный генератор своими руками? – URL: <https://www.asutpp.ru/opisanie-i-princip-raboty-vodorodnogo-generatora.html> – (дата обращения 01.03.2022).

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 —
e-mail iv-nikola@mail.ru

ФИО Спиридонов Сергей Васильевич
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 Иванова Ирена Викторовна
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 ходе работы был исследован способ получения альтернативного топлива, а именно водорода, путём электролиза. Были рассмотрены различные сферы применения водорода, такие как: использование для отопления помещений,

использование в ДВС, либо в роли топлива для газовой горелки. Данный вид топлива можно рассматривать как дополнение к основному углеводородному топливу, либо же, как полная альтернатива.

Ключевые слова: водородный газовый генератор, водород, электролиз, альтернативное топливо, газовая горелка.

УДК 62.622

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 44.31.99

Направления ресурсосбережения в конвективных камерных сушильных установках

Федяев Ал.А., Федяева В.Н.

Введение

На предприятиях, которые экспортируют лесоматериал за рубеж целесообразно перерабатывать лесоматериал, а не отправлять его в необработанном виде. При термообработке, в свою очередь, остро встает проблема снижения величины технологического брака, который в конвективных сушильных установках достигает значений 3 – 4 % и более [1, 5].

Для этих целей применяются разнообразные сушильные установки с различными способами сушки древесины: атмосферная, камерная, контактная, в поле токов высокой частоты, индукционная, ротационная, радиационная и др. Наибольшее распространение получила камерная конвективная сушка, осуществляемая в отдельно построенных отапливаемых помещениях.

Процесс ведётся в газообразной среде: в нагретом воздухе, смеси топочных газов с воздухом, или в перегретом паре при атмосферном давлении. Протекает процесс в независимости от атмосферных и климатических условий, поддаётся регулированию и позволяет получить древесину с заданной конечной влажностью [2, 3, 4].

В результате процесса сушки древесина из природного сырья превращается в промышленный материал, так как древесина только после достаточной просушки приобретает:

- биологическую стойкость против гниения;
- способность сохранять форму и размеры деталей в изделиях;
- максимальную механическую прочность при наименьшей плотности;
- хорошую обрабатываемость;
- минимальную теплопроводность, электропроводность;
- повышенную теплоту сгорания.

Если процесс сушки протекал неправильно, то на древесине могут появиться различные виды трещин или коробления (рисунок 1).

Цикл сушки состоит главным образом из следующих этапов:

1. Прогрев древесины, при котором влага из неё практически не убывает. Влажность древесины может даже увеличиться за счёт конденсации влаги из окружающего воздуха на поверхность холодной древесины (рисунок 2, период прогрева – процесс О-А).

2. Сушка древесины от высокой начальной влажности до, так называемой критической. На этом этапе из древесины удаляется свободная влага, и процесс протекает наиболее интенсивно (первый период – процесс А-Б).

3. Сушка от критической влажности до, заданной конечной. На этом этапе удаляется связанная влага. Процесс идёт более медленно, чем на втором этапе (второй период – процесс Б-В).

4. Кондиционирование и остывание древесины (третий период).

В графическом виде этапы можно представить в виде диаграммы зависимости влажности от времени сушки (рисунок 2) [4].



Рисунок 1. Разновидности трещин:
а – пластевые; б – кромочные; в – торцовые



Рисунок 2. Изменение влагосодержания материала от продолжительности термообработки

Задачей технологии сушки пиломатериалов является получение их неизменной формы практически в сухом виде (исключение, например коробления, трещин и т.п. (рисунок 1)), с заданными потребителем качествами.

В качестве примера в работе рассматривается сушильная установка для древесины итальянской фирмы Sesea модели JET 86.70.41 (рисунок 3), выполненная полностью из алюминия, термически изолированная панелями из минеральной ваты и дополненная компьютером. Теплоносителем в данной установке служит вода с параметрами $P = 6 \text{ кгс/см}^2$; $t = 95 \text{ }^\circ\text{C}$.

Состоит установка из двух отдельных камер, соединённых между собой. В каждой камере помещается по 24 штабеля, в пересчёте на кубатуру, при толщине доски 50 мм, это составит примерно $91,6 \text{ м}^3$. Камеры оснащены реверсивными вентиляторами диаметром 900 мм, по 4 штуки на камеру, мощностью по 5,5 кВт и производительностью $42500 \text{ м}^3/\text{час}$ каждый.

Заданная скорость движения воздуха в камере составляет 3,24 м/с. Также, на каждую камеру сушильной установки приходится по два калорифера,

выполненных из нержавеющей стали, с алюминиевым оребрением размерами 4110×800 мм.

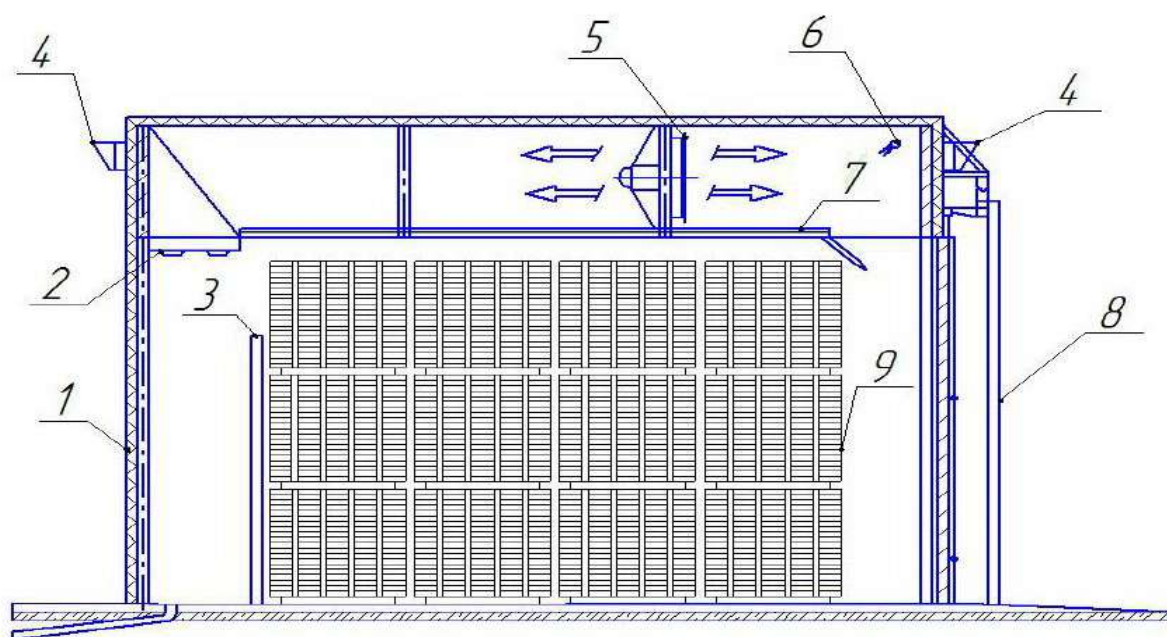


Рисунок 3. Продольное сечение сушильной камеры марки JET 86.70.41:

- 1 – термически изолированная панель; 2 – теплообменники (калориферы);
3 – ограничитель загрузки; 4 – воздуховоды; 5 – вентиляторы; 6 – распылитель влаги;
7 – подвижный потолок; 8 – откатные ворота из панелей; 9 – штабель

Загрузка материала производится при помощи фронтального погрузчика. Камера предназначена для сушки древесины различных категорий качества, в нашем случае это сосна, как правило, экспортной категории [4].

На основе анализа результатов исследований можно выявить: аэродинамические характеристики камеры; оценить их эффективность; составить математическую модель [6]; разработать вычислительную программу для теплового и аэродинамического расчета данной сушильной установки. С помощью программного обеспечения в дальнейшем при параметрических исследованиях предполагается установить влияние профилей скорости, а значит и энергоподвода, по сечениям рабочей камеры на скорость сушки и, соответственно, величину технологического брака. В работе предполагается также определить степень влияния на тепловые потери камер сушки более современных утеплителей, например, полиуретановых перекрытий, с меньшим коэффициентом теплопроводности.

Заключение. Совершенствование режимов работы сушильной установки (снижение количества технологического брака, который в установках фирмы Secca достигает 300 м³/год и более) выполняется на основе и по результатам, в частности, экспериментальных исследований аэродинамической обстановки в сушильных камерах, степени равномерности распределения скорости сушильного агента по высоте штабеля материала, что однозначно влияет и на

подвод теплоты на процесс сушки, а значит и на некондиционные параметры готовой продукции, которые достигают в отмеченных выше крупногабаритных установках 3-4 % [7] и более.

Библиографический список

1. Пейч Н.Н., Царев Б.С./ Сушка древесины – издание 2-е переработанное и дополненное – М.: «Высшая школа», 1971. – 220с.
2. Кречетов И.В./ Сушка древесины – 3-е издание переработанное – М.: Лесная промышленность, 1980. – 432с
3. Лыков А.В./ Теория сушки – М.: «Энергия» 1968. – 472с
4. Электронное приложение к сушильным установкам моделей Jet и MurJet фирмы Secca.
5. Богданов Е.С., Козлов В.А., Кунтыш В.Б., Мелехов В.И./Справочник по сушке древесины/ Под редакцией Богданова Е.С. – 4-е издание переработанное и дополненное – М.: Лесная промышленность, 1990. - 304с.
6. 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.
7. Федяев А.А. Энергосбережение при сушке пиломатериалов за счет кинетической оптимизации – Вестник «КрасГАУ», 2008, №1(22). 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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4618-5907
e-mail vends1@mail.ru

ФИО Федяева Валентина Николаевна
Организация Братский государственный университет
Адрес организации 675709, ул. Макаренко, д. 40, г. Братск, Иркутская область, Россия
SPIN-код 6449-1471
e-mail vends2@mail.ru

Аннотация

Рациональная аэродинамическая обстановка в камере сушки за счет равномерного энергоподвода однозначно приводит к энерго-ресурсосбережению в установках данного типа за счет снижения технологического брака и продолжительности процесса термообработки пиломатериала.

Ключевые слова: камера, сушильные установки, энергоподвод, технологический брак, пиломатериал.

УДК 674.047

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.33.31

Расчетные исследования влияния внешних факторов в каналах сушильных установок

Федяев Ал.А., Федяев Ар.А., Федяева В.Н., Дедерер М.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 настоящее время энергоемкость российской экономики примерно в 2 – 3 раза выше, чем в Японии, США и странах Западной Европы, что обусловлено крайне слабым учетом, контролем, регулированием расходования энергоресурсов, моральным и физическим износом техники и прочими факторами. В связи с этим в последние годы большое внимание уделяется вопросам энерго- и ресурсосбережения.

Одним из самых энергоемких процессов производства является сушка различных материалов и совершенствование технологии сушки является перспективным направлением снижения энергоемкости экономики.

Основным сырьем для производства фанеры является шпон (лущенный, строганный) [1]. На предприятии располагаются крупногабаритные конвективные машины для сушки лушеного шпона фирмы «Рауте» ленточного типа.

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 различных материалов. Аналогичные проблемы наблюдаются и в ленточных КСУ.

Существенной проблемой при сушке шпона является большой разброс влажности по длине сушимого материала (например, для ядра она доходит до 60%, для заболони до 200%), поэтому энергоподвод к заболони и ядру должен быть неодинаков, т.к. при одинаковом подводе сушильного агента к

высушиваемому материалу возможен брак кондиционного материала в виде коробления, трещин. Трещины, как показывают эксперименты, образующиеся по левой стороне шпона, уменьшают его прочность поперек волокон, а это может привести к его разрыву в процессе сушки, т.е. технологическому браку.

Одним из возможных путей снижения процента брака является непрерывное измерение начального влагосодержания и его распределения по ширине, определение продолжительности сушки до требуемого конечного влагосодержания и управление скоростью движения транспортных лент и других факторов.

Так, например, в работе выполнены расчетные исследования по оценке влияния начальных параметров сушильного агента на продолжительность процесса сушки.

Как показывают экспериментальные исследования, выполненные в промышленных условиях [2,4], влагосодержание по ширине сушеного материала на выходе из установки, различается, что связано с неодинаковыми значениями скорости сушильного агента по длине соплового короба. Это приводит к изменению продолжительности процесса сушки, а значит и к росту непроизводительных затрат. Поэтому в работе были также выполнены численные исследования [5] по определению влияния скорости сушильного агента в диапазоне от 17 м/с до 12 м/с (рисунок 1). Общая продолжительность сушки шпона в этом случае увеличивается на 9% (с 10,47 до 11,51 мин).

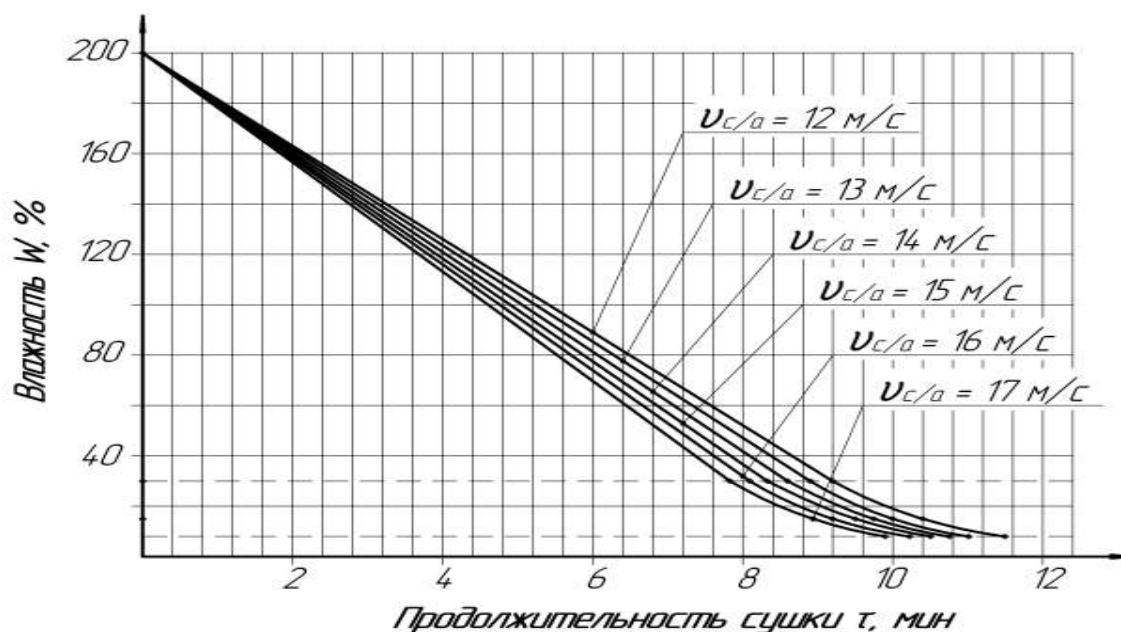


Рисунок 1. Графики зависимости продолжительности процесса сушки от скорости сушильного агента

На технологические характеристики процесса термообработки влажных материалов оказывает значительное влияние и способ подвода теплоты к поверхности материала [3]. В ходе расчетных исследований отмечен

существенный рост интенсивности процесса сушки при радиационном способе подвода теплоты по сравнению с конвективным способом. На рисунке 2 представлены кривые сушки шпона при конвективном и радиационном подводе теплоты, показывающие значительное влияние последнего, в частности, на продолжительность сушки, более чем в 2 раза. В таблице 1 представлены сравнительные расчетные данные по основным конечным параметрам процесса сушки для радиационного подвода теплоты и конвективного.

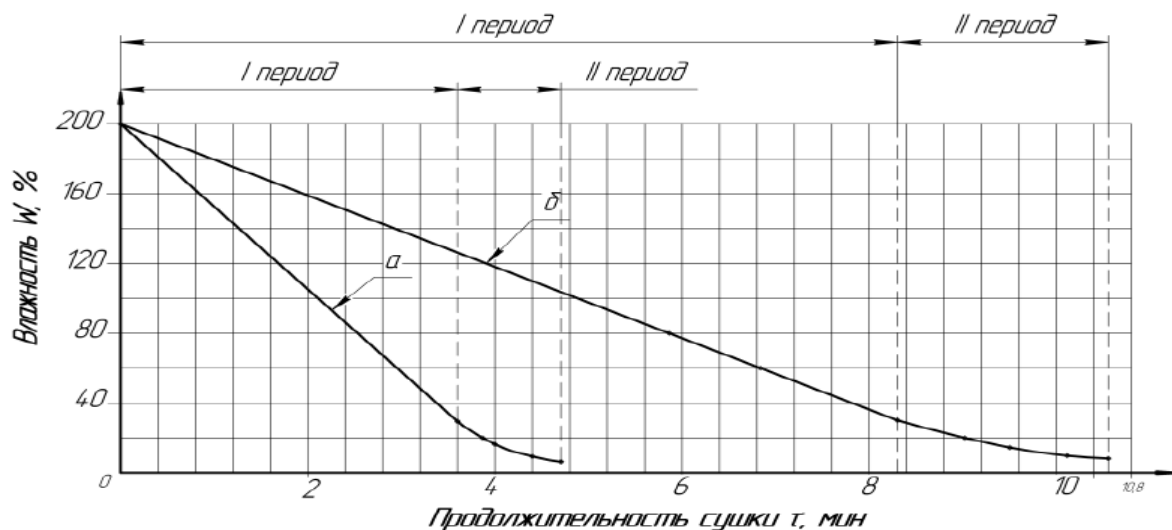


Рисунок 2. Графики продолжительности процесса сушки в зависимости от способа подвода теплоты:

а – радиационный способ; б – конвективный способ

Таблица 1. Сравнительные данные для конвективного и радиационного способов подвода теплоты

Параметр	Единица измерения	Конвективный подвод тепла	Радиационный подвод тепла
Скорость сушки в первом периоде	N, %/мин	15,9	37,3
Коэффициент сушки во втором периоде	K, 1/мин	0,48	0,97
Общая продолжительность сушки шпона	τ , мин	10,47	4,7
Рабочая длина сушилки	L, м	180	68
Расчетная часовая производительность сушилки	$P_{\text{расч}}$, $\text{м}^3/\text{ч}$	5,1	2,5
Расчетное часовое количество испаренной влаги	M, кг/ч	2528,3	1105
Расход теплоты на испарение влаги	q_0 , $\text{кДж}/\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}$	2830,9	2842,3
Общий расход теплоты на испарение 1 кг влаги	q, $\text{кДж}/\text{кг}$	5097,2	5190,7
Необходимая теплоотдача 1 калорифера	Q, $\text{кДж}/\text{с}$	14,2	6,31

Заключение. Численные исследования по определению влияния скорости сушильного агента в частности показали, что в диапазоне от 17 м/с до 12 м/с общая продолжительность сушки шпона увеличивается с 10,47 до 11,51 мин, т.е. на 9%. При использовании радиационного подвода теплоты значительно (в 2,2 раза – с 10,47 мин до 4,7 мин) снижается продолжительность процесса сушки, а, следовательно, и необходимая длина сушилки (в данном случае достаточно использовать 2-а этажа, вместо 5-и). Так как на каждом этаже сушки установлены электродвигатели для движения конвейерной сетки, то снижение количества этажей приведет к снижению потребления не только тепловой, но и электрической энергии.

Библиографический список

1. Стерлин Д. М. Сушка в производстве фанеры и древесностружечных плит. Изд. 2-е, перераб. и доп. - М. «Лесная промышленность». 1977, 384с.
2. Федяев А.А. Ресурсосбережение при сушке лущеного шпона. Межвузовский сборник научных трудов «Проблемы экономии ТЭР на промпредприятиях и ТЭС». Санкт-Петербург: СПбГТУРП, СПбГТУ, СЗТИ, 2001 г., с. 68 – 75.
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. Кречетов И. В. Сушка древесины. – 3-е изд.перераб. – М.: Лесн. пром-ть, 1980. – 472с.; ил.

Сведения об авторах

ФИО Федяев Александр Артурович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, 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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8169-9209
e-mail art_fedyayev@mail.ru

ФИО Федяева Валентина Николаевна
Организация Братский государственный университет
Адрес организации 675709, ул. Макаренко, д. 40, г. Братск, Иркутская область, Россия
SPIN-код 6449-1471
e-mail vends2@mail.ru

ФИО	Дедерер Михаил Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	sp1kexx89@gmail.com

Аннотация

В работе показаны варианты совершенствования технологии сушки с целью снижения энергоемкости экономики. Представлены результаты расчетных исследований режимов работы в крупногабаритных сушильных камерах при различных внешних параметрах и энергоподводе и их влияние на продолжительность процесса сушки лушеного шпона.

Ключевые слова: сушильный агент, продолжительность сушки, скорость, влагосодержание, неравномерность.

УДК 674.047

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.33.31

Использование ВЭР для термообработки материалов неправильной формы

Федяев Ал.А.

Введение

Актуальной задачей в условиях энергетического кризиса является экономия энергоресурсов за счет поиска путей использования низкопотенциального тепла промышленных предприятий. В металлургической промышленности и ряде других отраслей нередко возникает проблема сушки рабочей одежды для обслуживающего персонала горячих цехов и открытых площадок, т.к. работа во влажной спецодежде приводит к понижению производительности труда, росту невыходов на работу в связи с обострением простудных заболеваний и другим негативным факторам. С точки зрения минимизации эксплуатационных и капитальных затрат для проектируемой системы сушки одежды предполагается использование в качестве сушильного агента (СА) воздуха низких параметров бытовых помещений предприятия, возможность использования которого, в свою очередь, зависит от времени сушки материалов, причем в ограниченном временном интервале (не более 16 часов).

Разнообразие сушимых материалов и подходов к обобщению получаемых различными авторами данных по кривым сорбции и десорбции не позволяет использовать уже имеющуюся единую зависимость равновесного

влагосодержания материала от температуры и относительной влажности СА $\omega_p = f(t, \varphi)$ для таких сложных материалов как войлочные куртка, брюки, головной убор, валенки и др., используемых в качестве верхней спецодежды рабочим персоналом литейного производства алюминиевого завода. Наиболее предпочтительным для изучения кинетики сушки представляется метод обобщенной кривой сушки [1,2], позволяющий по одной кривой сушки учесть специфику конкретного сушимого материала и условий его обтекания воздушным потоком, для получения которых для каждого объекта сушки была изготовлена опытная (рис.1) аэродинамическая установка, работающая на отсасывание.

При проведении экспериментальных исследований скорость СА измерялась напорным насадком полного давления (19) в комплекте с микроанометром ММН-240 (20) и дублировалась лепестковым анемометром. Относительная влажность СА контролировалась психрометром, а относительная максимальная погрешность измерения скорости и, соответственно, расхода СА не превышала 1,5 % [5]. До начала проведения опытов проводилось измерение различных геометрических характеристик спецодежды: поверхность сушки и ориентировочный объем каждого элемента; коэффициент объемного использования камеры материалами, $K=46,6$ %; температура СА измерялась ртутным термометром с ценой деления $0,5$ °С. Перед сушкой с помощью специального распылителя проводилось равномерное увлажнение объектов с последующей выдержкой их в свернутом виде в герметичной упаковке в течение 1,5-2,0 часов для равномерного распределения влаги. Так как процесс сушки в интервале комнатных температур ($16-22$ °С) занимает достаточно продолжительное время, то при перерывах в опытах сушимые материалы упаковывались в отдельные непроницаемые пакеты. Увлажнение одежды проводилось для начального влагосодержания $\omega_n = 22-27$ %, т.е. для случая, когда может произойти ее максимальное увлажнение, например, дождь (при работе на открытом воздухе). Изменение веса спецодежды осуществлялось с помощью стандартных стрелочных весов с погрешностью измерения 2-3 грамма. Размеры рабочего шкафчика, используемого на производстве для хранения рабочей одежды и одновременно в качестве камеры сушки при проектировании системы обезвоживания материалов, составили: высота 1,65 м, ширина 0,37 м, длина 0,48 м; объем 0,293 куб. м; площадь поперечного сечения 0,1776 кв. м. Расход СА при измерениях составил 37 куб.м в час, а его скорость в свободном пространстве 0,09 м/с.

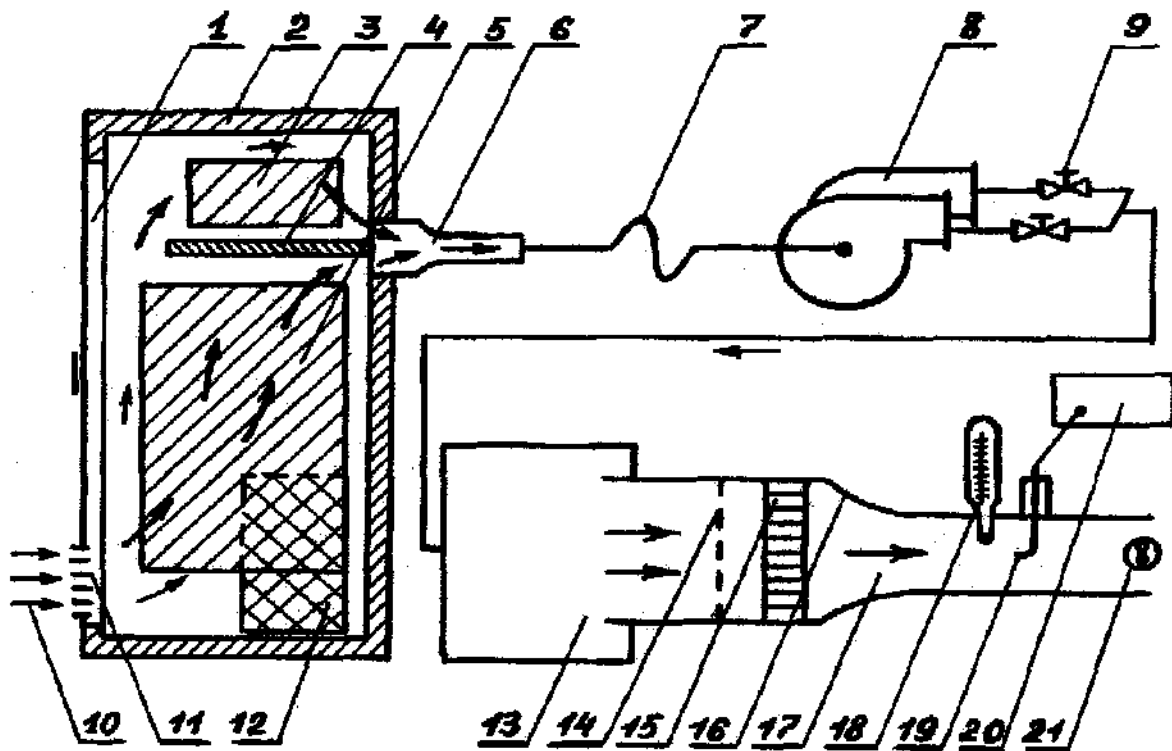


Рисунок 1. Принципиальная схема аэродинамической установки для сушки рабочей одежды: 1 – дверца рабочего шкафчика; 2 – корпус; 3 – объем, занимаемый головным убором; 4 – полочка; 5 – объем, занимаемый верхней одеждой (куртка, брюки); 6 – патрубок отвода агента сушки; 7 – гибкий участок; 8 – центробежные вентиляторы; 9 – регулирующие вентили; 10 – подача воздуха из помещения; 11 – входные отверстия для воздуха; 12 – валенки; 13 – демпфирующая емкость; 14 – сетка; 15 – хонейкомб; 16 – сглаживающее сопло; 17 – участок измерений; 18 – термометр; 19 – датчик; 20 – измерительная аппаратура; 21 – лепестковый анемометр.

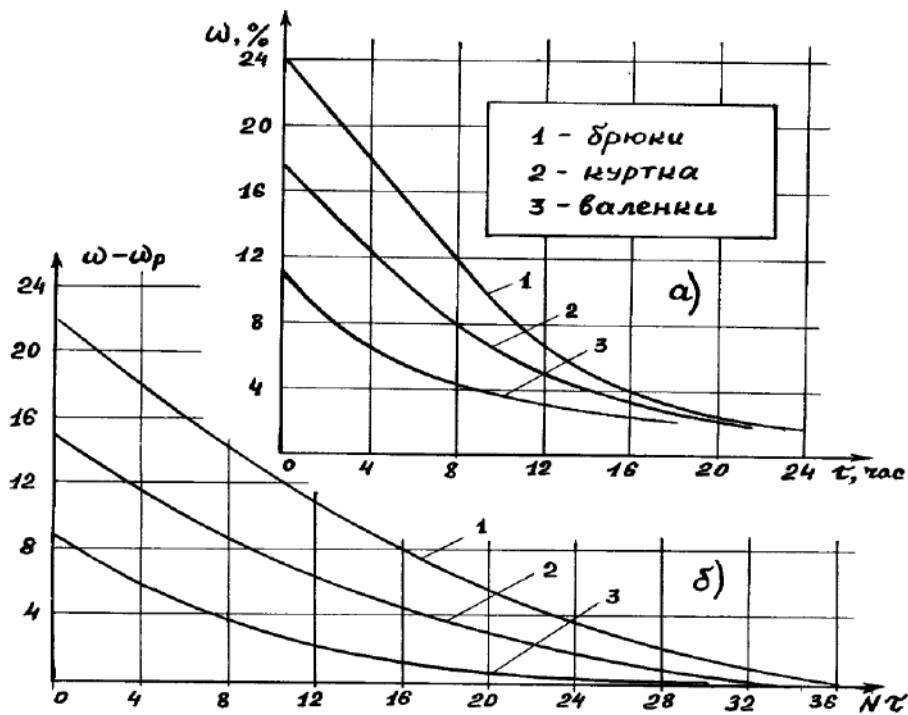


Рисунок 2. Кривые сушки (а) и обобщенные кривые сушки (б) для опытных войлочных образцов

По полученным экспериментальным данным построены кривые сушки для каждого образца, представленные на рис. 2 а. Критическое влагосодержание для всех материалов составило $\omega_{кр1} = 17,5\%$, $\omega_{кр2} = 14\%$, $\omega_{кр3} = 8,5\%$. Для всех образцов сушки равновесное влагосодержание находится в пределах 2-2,5%. Для любых условий сушки, например, различные ω_n , температура и скорость СА и др. расчет продолжительности сушки τ при наличии одной опытной кривой для каждого сушимого материала проведен по методу В.В. Красникова [1], согласно которому произведение скорости сушки N на текущее время τ остается постоянным, т.е. $N_1\tau_1 = N_2\tau_2 = \dots = N_n\tau_n = \text{const}$, где N_1, N_2, \dots, N_n – скорость сушки в периоде постоянной скорости при различных режимах; $\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_n$ – текущее время сушки, в течении которого влагосодержание изменилось от ω_n до текущего ω . Поэтому все опытные кривые сушки данного материала при различных режимах (семейство кривых) при одном и том же ω_n , перенесенные в новую систему координат $(\omega - \omega_p)$, $N\tau$, совмещаются в единую кривую, названную обобщенной кривой кинетики сушки. Имея обобщенные кривые сушки, представленные на рис. 2б для всех экспериментальных образцов, несложно определить время сушки для любого заданного интервала от ω_n до ω_k как $\tau = (N\tau)_{\omega_n} - (N\tau)_{\omega_k} / N$, где $(N\tau)_{\omega_n}$, $(N\tau)_{\omega_k}$ – обобщенное время, найденное, соответственно, при начальном и конечном влагосодержаниях; N – скорость сушки в первом периоде при заданных параметрах режима [3, 4].

Данные экспериментальных исследований по кинетике сушки верхней спецодежды войлочного покрытия позволили получить индивидуальные коэффициенты для каждой обобщенной кривой сушки и возможность рассчитывать продолжительность сушки τ для каждого образца до любого заданного конечного влагосодержания ω_k в зависимости от различных начальных условий. Расчет τ для сушимых материалов показал возможность использования в качестве агента сушки теплого воздуха систем отопления центральных бытовых цехов алюминиевого предприятия.

Для сведения к минимуму материальных затрат в проектируемой системе сушки использованы элементы уже имеющегося оборудования “бытовок”, а именно: индивидуальные шкафчики для хранения рабочей одежды и воздушная сеть принудительной вентиляции. Выполнена корректировка геометрических параметров пневмосети и подводящих промежуточных пневмолиний, а также рабочих характеристик тягодутьевых устройств системы вытяжной вентиляции центральных бытовых. Разработанная система сушки рабочей одежды эксплуатируется во всех цехах металлургического предприятия.

Заключение. Экспериментально установлена возможность использования низкопотенциального тепла (теплого воздуха в виде агента сушки) системы

отопления и сети принудительной вентиляции центральных бытовых металлургического предприятия для сушки спецодежды. Проведено комплексное экспериментальное исследование в лабораторных условиях аэродинамического совершенства сушильной камеры с целью наиболее равномерного распределения энергоподвода в рабочей зоне

Библиографический список

1. Красников В.В. Кондуктивная сушка. М.: Энергия, 1973.- 286 с.
2. Промышленные тепломассообменные процессы и установки. Учебник под редакцией А.М. Бакластова.-М.: Энергоатомиздат, 1986.- 328 с.
3. Видин Ю.В., Федяев А.А. Энергосбережение при сушке текстильных материалов сложной формы. Вестник Красноярского государственного университета. Выпуск 19. Красноярск: КГТУ, 1999. - С.139-142.
4. Федяев А.А., Адомавичюс А.А. Использование бросового тепла систем вентиляции для сушки материалов неправильной формы. Kauno technologijos universitetas. Lietuvos energetikos institutas. Šilumos energetika ir technologijos. Konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas. Technologija. 2002. S. 87 – 92.
5. Федяев А.А. Совершенствование сопловых сушилок лущеного шпона. Материалы конференции «Теплоэнергетика и технологии». Каунасский технологический университет. Литва, Каунас: КТУ, 2000. - С.59-62.

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	vends1@mail.ru

Аннотация

В работе выполнены экспериментальные исследования в лабораторных условиях процессов сушки объектов неправильной формы с использованием низкопотенциального тепла (теплого воздуха в виде агента сушки) системы отопления и сети принудительной вентиляции центральных бытовых металлургического предприятия.

Ключевые слова: обобщенные кривые сушки, продолжительность сушки, энергоподвод, влагосодержание, спецодежда.

УДК 674.047

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.33.31

Экспериментальные исследования аэродинамической обстановки в рабочей камере при сушке пиломатериалов

Федяев Ал.А. Федяев Ар.А., Дедерер М.А.

Введение

Земли лесного фонда Российской Федерации занимают 69,7 млн. га или 92% ее территории. По запасам лесных ресурсов Иркутская область занимает третье место среди регионов России. Запас древесины составляет 9,1 млрд. куб. м [1]. В области работает более 2150 средних, крупных и мелких предприятий лесопромышленного комплекса. Технический износ оборудования на предприятиях в настоящее время достаточно высок – в отдельных случаях более 80%. Одним из самых энергоемких процессов производства является сушка пилопродукции, поэтому совершенствование технологии сушки является перспективным направлением снижения энергоемкости экономики.

Особое внимание следует уделять лесосушильным цехам, как наиболее ответственным за качество выпускаемой продукции.

В камерных конвективных сушильных установках, частности с продольной циркуляцией энергоносителя наблюдается неравномерное высушивание пиломатериалов по высоте штабеля [2]. Это влечет за собой повышенный брак продукции и, соответственно, увеличение экономических затрат на процесс сушки в целом.

В качестве объекта исследования и определения аэродинамической ситуации в рабочей камере выбрана СК ЦНИИМОД-49, предназначенная для крупномасштабной подготовки кондиционной пилопродукции [3,4].

С целью исследования аэродинамического совершенства камеры в лабораторных условиях был изготовлен макет СК в масштабе 1:25, в котором на равномерном расстоянии по длине камеры располагались точки замеров скорости потока рабочего агента, в том числе и по вертикальным сечениям [5].

Для расчетных исследований динамических характеристик агента сушки (а.с.) по полученным в ходе эксперимента данным, была разработана специализированная программа «Эксперимент», позволяющая вводить все необходимые исходные внешние параметры а.с. возможностью сохранения полученных результатов и вывода на печать.

Экспериментальные исследования при анализе полученного исходного профиля скорости в зоне подачи сушильного агента СК показали значительную неравномерность распределения значений векторов скорости по высоте камеры и даже обратные векторы скорости. Так как энергоподвод к сушиму 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.

Для выравнивания потока энергоносителя по высоте была проведена серия экспериментов по подбору конфигурации, количества и местоположения специальных распределительных устройств. На рисунке 1 и 2 представлены некоторые результаты (а, б, в, г) экспериментальных исследований в лабораторных условиях при установке распределительных устройств различных конфигураций и соответствующие им варианты деформирования входного профиля скорости.

В конечном итоге получено наиболее рациональное распределение профиля скорости (рис. 3) при установке двух направляющих устройств в зоне подачи теплоносителя в камеру сушки.

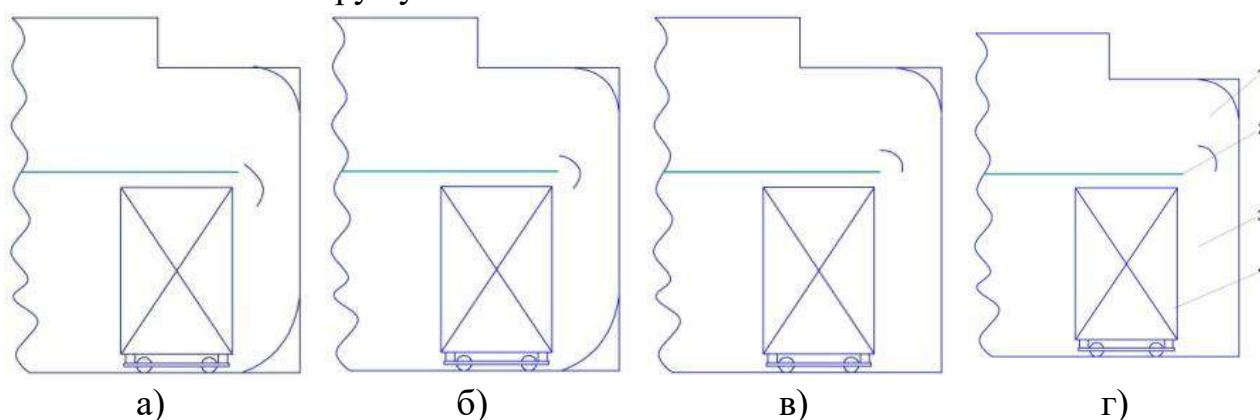


Рисунок 1. Варианты оптимальной конфигурации распределительных устройств: 1 – зона установки распределительных устройств; 2 – ложный потолок; 3 – зона измерения профилей скорости; 4 – штабель сушимого материала

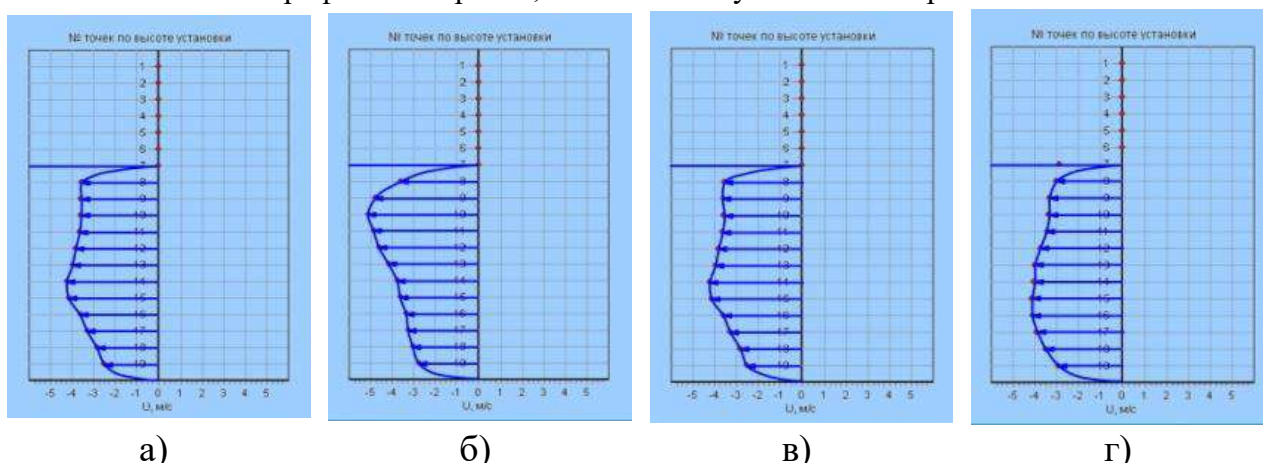


Рисунок 2. Опытные профили скорости энергоносителя для соответствующих распределительных устройств

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.

Продолжительность работы СК в течение одного периода сушки вместо 26,2 – 40 часов в разных частях штабеля вследствие выравнивания энергоподвода к материалу по данным расчетных исследований стала составлять 27 часов (рис. 4).

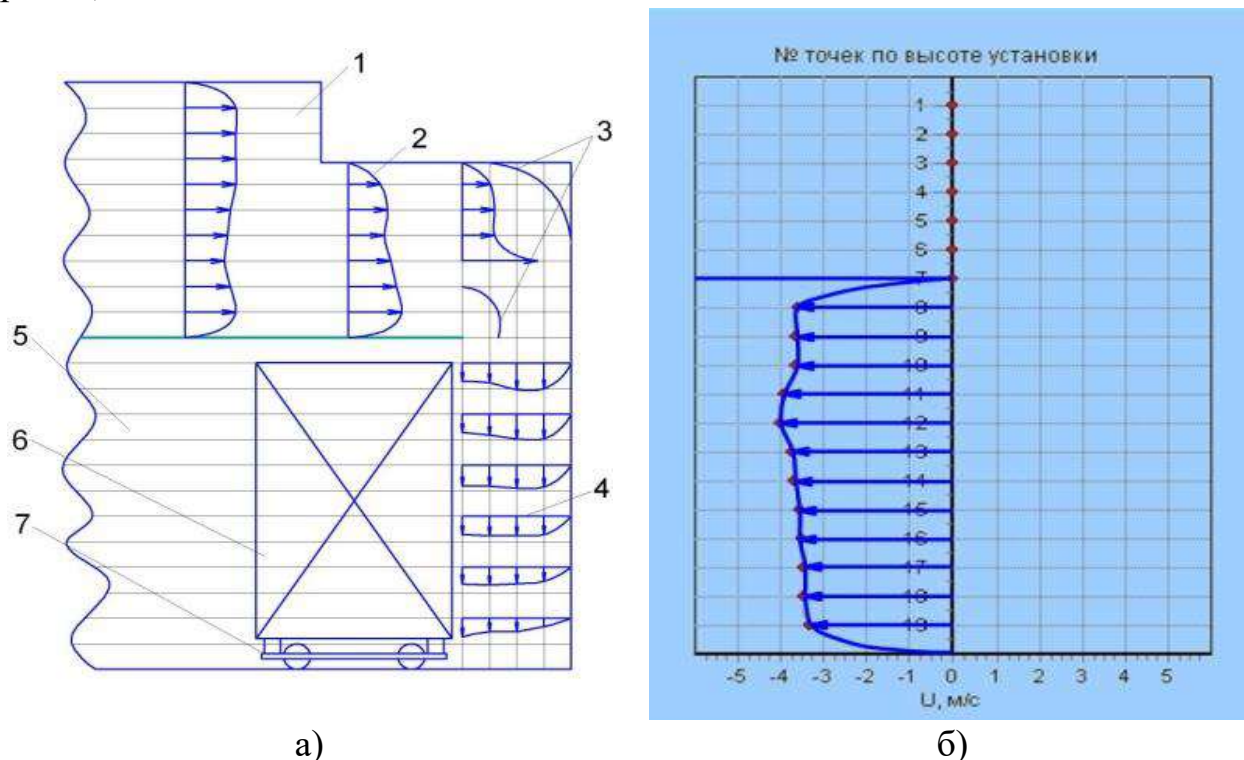


Рисунок 3. Схема распределительной зоны камеры с установленными направляющими устройствами (а), профиль скорости энергоносителя (б): 1 – сушильная установка; 2 – профили скорости; 3 – распределительные устройства; 4 – зона подачи сушильного агента; 5 – рабочая зона; 6 – штабель сушимого пиломатериала; 7 – вагонетка

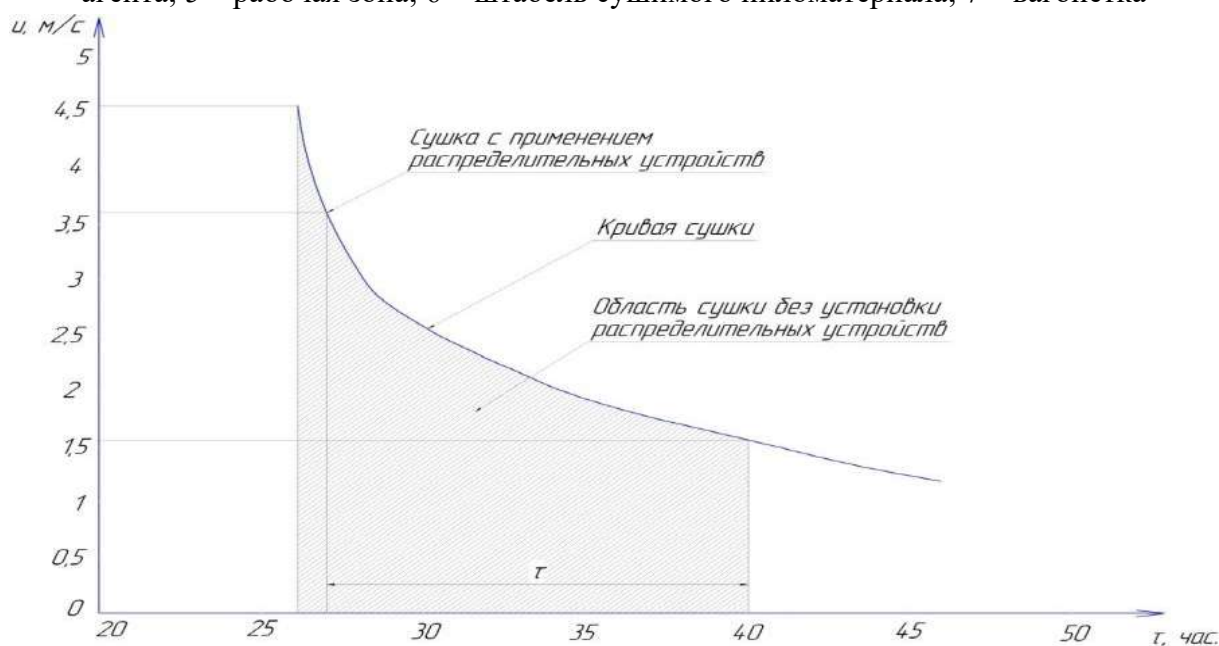


Рисунок 4. Продолжительность сушки в зависимости от величины скорости потока энергоносителя

Заключение. Экономическая оценка эффективности установки распределяющих устройств показала, что технологический брак пиломатериалов

лесосушильного цеха, состоящего из пяти камер, сократился на 5,6 % или 1564 м³/год. При сокращении времени сушки соответственно снижается потребление электрической и тепловой энергии. Расчетный потенциал энергосбережения лесосушильного цеха по потреблению тепловой энергии составил 4,34% или 6177,6 Гкал/год, по потреблению электрической энергии 0,22% или 350845 кВт/год. Результаты исследования могут быть использованы в лесосушильном производстве.

Библиографический список

1. www.pk.ismi.ru / Политический Иркутск - электронный ресурс сайта.
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. – 164 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, 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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8169-9209
e-mail art_fedyaev@mail.ru

ФИО Дедерер Михаил Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail sp1kexx89@gmail.com

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 экономическая оценка получения некондиционных параметров и снижения технологического брака.

Ключевые слова: аэродинамическая обстановка, сушка пиломатериалов, экспериментальные исследования, потенциал энергосбережения.

УДК 674.047

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.33.31

Модернизация системы охлаждения пивоваренного завода

Федяев Ал.А., Федяева В.Н.

Введение

Предприятия пищевой промышленности относятся к энергоемким производствам. При этом на выработку холода и эксплуатацию систем холодоснабжения расходуется около половины потребляемой на предприятии электроэнергии, а в летние месяцы ее доля может достигать 60% от общего расхода. На системы холодоснабжения предприятий приходится также до 35% потребляемой предприятиями воды.

Для поддержания оптимального температурного режима технологических процессов широко используются различные схемы водяного охлаждения оборудования. От стабильности температуры охлаждающей воды или другого хладоносителя зависит не только качество, но и удельные затраты на производство единицы продукции.

Сложные биологические, биохимические и физикохимические процессы при варке пива стали достижимы только за счет использования холода. В настоящее время на пивоваренных заводах применяют два способа брожения: традиционный периодический способ и новый ускоренный способ брожения в цилиндрикоконических танках (ЦКТ). Каждый способ имеет определенные преимущества и недостатки, но в целом они определяют следующий ряд технологических процессов, для правильного протекания которых требуется холод:

- приготовление сусла;
- термостатирование во время главного брожения сусла;
- охлаждение молодого пива;
- дображивание и созревание молодого пива;
- охлаждение после пастеризации и фильтрации пива;
- розлив пива.

Распространение в этой отрасли пищевой промышленности получили как холодильные установки с промежуточным хладоносителем, так и непосредственного охлаждения продукта.

В качестве хладагента в холодильных машинах используются фреоны или аммиак, а в качестве хладоносителей – вода, водные растворы солей, спиртов или глицерина.

В частности, на Братском пивоваренном заводе принята «закрытая» рассольная система охлаждения, использующая в качестве хладоносителя CaCl (рассол), которая обслуживается старым и новым машинными отделениями с агрегатированными компрессорно- конденсаторно- испарительными холодильными машинами. Аппаратное отделение для обоих машинных отделений является общим. В нем установлен открытый бак слива рассола из всех потребителей холода, рассольные и водяные насосы. В качестве холодильного агента используется аммиак.

Потребителями холода (рассола) являются бродильные и лагерные отделения производства пива, теплообменные аппараты для охлаждения суслу, а также купажные емкости для производства охлаждающих напитков (воды и кваса). Соотношение потреблений холода разными статьями расхода представлено на рисунке 1. Температуру подающего рассола поддерживают на уровне: зимой: -14 °С, а летом: -10°С.



Рисунок 1. Соотношение холодопотребления на пивоваренном заводе

В настоящее время, всё большее внимание уделяется современным хладоносителям, которые по своим свойствам превосходят хлористый кальций (CaCl_2). В процессе эксплуатации возможны утечки рассола (CaCl_2) и попадание его в бродильные танки через проржавевшие змеевики, особенно в местах сварочных швов. Поэтому при дальнейшем совершенствовании системы охлаждения Братского пивзавода необходимо определиться в выборе антикоррозийного хладоносителя, его теплофизических свойствах и техническом воплощении для бродильных танков. В качестве такого хладоносителя для охлаждения танков вместо хлористого кальция рекомендуется применить 60% водный раствор технического глицерина.

Перевод бродильных отделений на охлаждение глицерином связан с созданием отдельного (от рассольного) циркуляционного кольца, в котором в качестве хладоносителя циркулирует водный раствор глицерина. Температура замерзания хладоносителя принимают на 8-10 °С ниже температуры кипения аммиака. Исходя из теплотехнических данных глицерина, его концентрация в водном растворе не должна быть ниже 50% (рисунок 2).

Водный раствор глицерина циркулирует по закрытой кольцевой системе «насос – испаритель – приборы охлаждения – насос».

Под приборами охлаждения подразумеваются магистральные трубопроводы, трубопроводы разводки, змеевики бродильных танков и воздухоохладители.

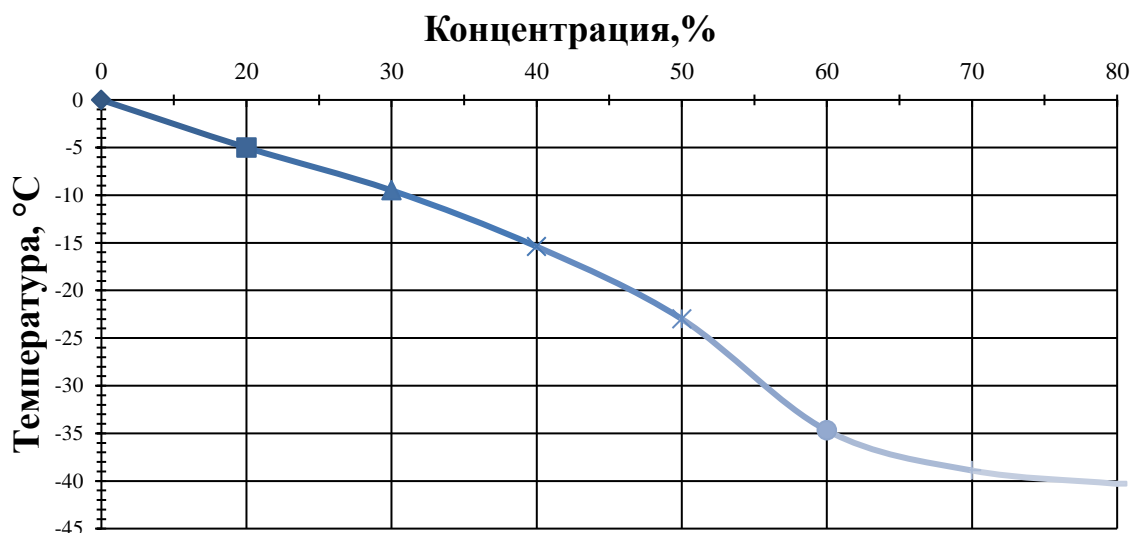


Рисунок 2. Зависимость температуры замерзания от концентрации водного раствора глицерина

Заключение. Испаритель по подаче и отсосу аммиака подключается к общей аммиачной системе охлаждения существующего машинного и аппаратного отделений. В аппаратном отделении предусматривается установка испарителя для охлаждения водного раствора глицерина, циркуляционный насос, бачок для

выпуска воздуха из системы. В машинном отделении предусматривается установка более мощного винтового компрессорного агрегата. Работа может иметь практическое применение.

Библиографический список

1. Покровский Н.К. Холодильные машины и установки. – М.: Пищевая промышленность, 1969.-323 с.
2. Проектирование холодильников / Ю.С. Крылов, П.И. Пирог, В.В. Васютович, А.И. Дементьев. – М.: Пищевая промышленность, 1972. – 310 с.
3. Холодильные машины: Учебн. для вузов по специальности «Холодильные машины и установки» / Н. Н. Кошкин. И.А. Сакун, Е.М. Бамбушек и др.; под общ. ред. И.А. Сакуна. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1985. – 510 с., ил.
4. Федяев А.А. Повышение эффективности технологических систем транспортировки энергоносителей. Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири: материалы XI (XXXIII) Всероссийской научно-технической конференции. – Братск: Изд-во БрГУ, 2013.-191с.
5. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: Справочник/ Под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоатомиздат, 1991.

Сведения об авторах

ФИО Федяев Александр Артурович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4618-5907
e-mail vends1@mail.ru

ФИО Федяева Валентина Николаевна
Организация Братский государственный университет
Адрес организации 675709, ул. Макаренко, д. 40, г. Братск, Иркутская область, Россия
SPIN-код 6449-1471
e-mail vends2@mail.ru

Аннотация

В работе предлагается в качестве хладоносителя для охлаждения танков вместо хлористого кальция применить более экологичный 60% водный раствор технического глицерина, что предотвращает установку дополнительного оборудования: испарителя для охлаждения водного раствора глицерина, циркуляционный насос, бачок для выпуска воздуха из системы и др. Работа может иметь практическое применение.

Ключевые слова: хладоноситель, температурный режим, рассол, холодильные машины, потребители холода.

УДК 674.047

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.33.31

4. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Учет погрешностей при техническом диагностировании машин

Мартынов Б.Г., Тарабан М.В., Мурашкин А.А.

Введение

Как известно погрешности, в случае диагностирования машин, также как и в общем случае, делятся на случайные и систематические. Случайные погрешности не удастся определить заранее. Систематические составляющие суммарной погрешности это либо постоянно действующие в процессе измерения, либо закономерно изменяющиеся во времени.

Цель исследования – определение различных видов погрешностей при диагностировании машин.

Методы исследований.

При определении погрешностей, возникающих при определении технического состояния машин, используются теория вероятностей и математическая статистика.

Результаты исследований.

Рассмотрим погрешности, которые появляются в результате диагностирования машин.

Случайные погрешности

Случайная погрешность определяется как разность между результатом измерения, из которого исключена систематическая составляющая погрешности, и действительным значением измеряемой величины.

Так как при диагностировании машин практически все процессы являются случайными, которые характеризуются интегральными функциями распределения и дифференциальными функциями плотности распределения, то и характеристиками случайной погрешности являются эти функции.

Исследуемые механизмы машин обычно подчиняются нормальному и экспоненциальному законам распределения.

Основной задачей при диагностировании машин встает задача определения допустимых значений измеряемых параметров и вычисления ошибок первого и второго рода. Под ошибками первого рода понимаются ошибки, связанные с ложным сигналом. Из-за таких ошибок увеличивается процент выбраковки технически исправных элементов машины.

Под ошибками второго рода понимаются ошибки, связанные с пропуском дефекта. Из-за таких ошибок увеличивается процент пропущенных неисправных элементов машины.

Для уменьшения таких ошибок используется корреляционный анализ, основной характеристикой которого является коэффициент взаимной корреляции. После его определения подсчитывается коэффициент вариации, который равен отношению среднего квадратического отклонения к среднему значению измеренного сигнала. Оба этих коэффициента должны стремиться к 1.

При определении случайной погрешности используют интегральные моменты, обычно второго порядка [1].

$$\mu(X) = \int_{-\infty}^{+\infty} X^2 p(X) dX \quad (1)$$

где $\mu(X)$ – интегральный момент; X – случайная погрешность измерения; $p(X)$ – вероятность появления случайной величины, в данном случае случайной погрешности.

Для определения допустимых значений диагностических параметров лучше применять оценки случайной погрешности в виде доверительных интервалов. Обычно ширину доверительного интервала выражают через среднее квадратическое отклонение СКО (σ_x)

СКО определяется по известной формуле

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

Тогда доверительный интервал будет равен:

$$P(x - t_p \sigma_x \leq x_D \leq x + t_p \sigma_x) = 2\Phi(t_p) - 1 \quad (3)$$

где P – вероятность появления действительного результата x_D , x – результат измерения; $\Phi(t_p)$ – нормированная интегральная функция ошибок; t_p – нормированный аргумент функции распределения.

При определении технического состояния отдельных узлов и сопряжений механизмов машин используют спектральный анализ. При этом возникают дополнительные погрешности, связанные с выделением полезного сигнала в определенной области частот

Основным диагностическим сигналом в этом случае является амплитуда спектральной плотности в необходимом диапазоне частот. При анализе быстродействующих процессов, период действия которых много меньше периода измерения, необходимо применение более узких полос выделения полезных сигналов. Применение узких полос частотного диапазона влечет за собой увеличение погрешности выделения полезного сигнала из общего сигнала входного процесса.

Такая погрешность определяется по следующей формуле [2]:

$$\delta_{\varphi} = e^{(-1,5\Delta\omega\tau_{\text{ВХ}})} \sin \varphi \quad (4)$$

где $\Delta\omega$ – ширина полосы пропускания частотного фильтра; $\varphi = \arctg \frac{f}{3\Delta\omega}$; f – частота сигнала помехи; $\tau_{\text{ВХ}}$ – длительность импульса входного процесса.

Из формулы (4) следует, что с уменьшением полосы пропускания или с уменьшением длительности входного импульса величина погрешности может достигать величины 15-18%. Для уменьшения этой погрешности применяют специальные методы обработки сигналов и аппаратные средства измерения.

Систематические погрешности зависят от выбранного метода и средства измерения. При диагностировании машин основными систематическими погрешностями, на которые можно повлиять исследователю являются методические. Они связаны с выбором недостаточно точных моделей средств измерения.

Выводы

Погрешность диагностирования складывается из погрешностей преобразователей (датчиков), измерительных средств и методов диагностирования. Погрешность метода диагностирования будет определяться чувствительностью диагностического параметра к изменению структурного, а также погрешностью измерения, полученной в результате сопоставления экспериментальных данных расчетным, т.е. с аппроксимацией законов изменения измеряемой величины. При этом, в зависимости от выбранного метода обработки данных, следует учитывать как случайные, так и систематические погрешности, возникающие в процессе диагностирования машин.

Библиографический список

1. Хейнлейн В.Е., Холмс В.Х. Активные фильтры для интегральных схем. – М.: Связь, 1980.- 656 с.
2. Макс Ж. Методы и техника обработки сигналов при физических измерениях. – М.: Мир, 1983. – 312 с.

Сведения об авторах

ФИО	Мартынов Борис Григорьевич
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	Тарабан Мария Всеволодовна

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7023-1741
e-mail arcan65@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 —
e-mail lesbisnes@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены погрешности, которые возникают при диагностировании машин. Определены их характеристики, а также методы, которые используются для определения этих погрешностей.

Ключевые слова: случайные погрешности, систематические погрешности, измерения, техническое диагностирование машин.

УДК 51-74

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 68.85.83

К вопросу выбора параметров при диагностировании машин

Мартынов Б.Г., Тарабан М.В., Ачинова М.А.

Введение

При определении технического состояния машин основной задачей стоит получение необходимой информации, ее анализ и принятие решения о видах воздействия или дальнейшей эксплуатации машины. Для достижения этого необходимо произвести выбор номенклатуры параметров технического состояния и обосновать их ценность для целей диагностирования.

Цель исследования – рассмотреть методы выбора и обоснования номенклатуры диагностических параметров. *Методы исследований* – теория информации.

Результаты исследований.

Наибольшую сложность при выделении полезного сигнала представляют собой сигналы вибраций от проверяемых механизмов. Для безразборной диагностики таких механизмов и сопряжений как цилиндро-поршневая группа,

газораспределительный механизм, кривошипно-шатунная группа, в результате работы которых происходят соударения деталей и применяется вибродиагностика.

Вначале для определения номенклатуры исследуемых вибросигналов применяется теория информации, связанная с уменьшением меры неопределенности, полученной информации.

Как известно из теории информации связана с количеством информации, передаваемым исследуемым параметром.

$$I(x) = H(x) \quad (1)$$

где $I(x)$ – количество информации, передаваемое системой; $H(x)$ – энтропия проверяемой системы.

Для получения полной информации о тракторе или автомобиле в целом при диагностировании вводится допущение о независимости его агрегатов и систем.

Энтропия физического объекта определяется:

$$H(x_i) = - \sum_i P_i(x_i) \log_2 P_i(x_i) \quad (2)$$

где P_i – вероятность i -го состояния физического объекта, т.е. представляет сумму произведений вероятностей различных состояний физического объекта (x_i) на логарифмы этих состояний взятой со знаком минус.

Из (1) и (2) следует, что чем меньше энтропия системы, тем большее количество информации можно получить о проверяемой системе.

В реальных условиях, когда нет возможности непосредственно получать информацию о системе X , приходится следить за другой системой Y , связанной с ней. Тогда количество информации, передаваемое системой X в результате слежения за системой Y будет равно:

$$I_{y \rightarrow x} = H(x) - H(x|y) \quad (3)$$

где $H(x|y)$ – энтропия объединенной системы X и Y .

Выражение для количества информации, определенное через энтропию объединенной системы и энтропию ее составных частей равно:

$$I_{y \rightarrow x} = H(x) + H(y) - H(x; y) \quad (4)$$

В большинстве случаев случайная величина X распределена по нормальному закону. Тогда после подстановки выражений для энтропии и путем соответствующих преобразований окончательно получим [1]:

$$I_{y \rightarrow x} = \log_2 \frac{\sqrt{\sigma_x^2 + \sigma_z^2}}{\sigma_z} \quad (5)$$

σ_x ; σ_z – средние квадратические отклонения случайной величины X и ошибки измерения Z , а случайная величина: $Y = X+Z$

После того, как мы получили набор параметров, которые передают наибольшее количество информации, необходимо определить ее качество, т.е. информационную ценность параметра.

Для целей оперативного контроля информационная ценность определяется [1]:

$$J = \tau_x \cdot [H(x_0) - H(x)] \quad (6)$$

$H(x_0)$ – энтропия базовой системы (до измерения); $H(x)$ – энтропия системы после измерения.

Энтропия базовой системы определяется как:

$$H(x_0) = \log_2 \left[\frac{(x_{max} - x_{min})}{\Delta x} \right] \quad (7)$$

$(x_{max} - x_{min})$ – диапазон изменения случайной величины X ; Δx – участок нечувствительности измерительных средств.

Энтропия системы после измерения равна:

$$H(x) = \log_2 \frac{2\alpha}{\Delta x} \quad (8)$$

α – абсолютная ошибка измерения;

$$\tau_x = \frac{\sigma_x}{c_x} \quad (9)$$

τ_x – время изменения параметра; c_x – скорость изменения параметра в нормальных условиях; σ_x – среднее квадратическое отклонение параметра.

Подставляя полученные выражения в (6) окончательно получим выражение для информационной ценности параметра в целях определения технического состояния объекта.

Библиографический список

1. Мартынов Б.Г. Обоснование эффективной эксплуатации индивидуальных машин по результатам их технического состояния. – автореф. дисс. докт. техн. наук. - СПб, 2005 – 39 с.

Сведения об авторах

ФИО	Мартынов Борис Григорьевич
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	Тарабан Мария Всеволодовна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код 7023-1741
e-mail arcan65@mail.ru

ФИО Ачинова М.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 lesbisnes@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены методы выбора и обоснования номенклатуры диагностических параметров. Представлены выражения для определения количества информации передаваемые параметрами и определения их информационной ценности.

Ключевые слова: методы выбора, параметры, измерения, техническое диагностирование машин.

УДК 51-74

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 27.35.00

Применение математических моделей для решения задач технического диагностирования машин

Мартынов Б.Г., Тарабан М.В., Давыденко С.В.

Введение

Техническое диагностирование машин заключается в определение технического состояния как машины в целом, так и отдельных агрегатов, механизмов и систем.

Неопределенность, неизбежную при описании процессов технического диагностирования следует учитывать при построении математических моделей объектов диагностирования. Обычно используют три основных приема [1]:

1. Задание пределов изменения процесса диагностирования, его производных или спектра. В простейших случаях предельные значения задаются постоянными.

2. Задание пределов изменения параметров сигналов. Чаще всего на параметры накладывают независимые ограничения.

3. Задание распределения значений процессов или параметров по всем возможным значениям. Обычно, при этом, применяются вероятностные модели.

Цель работы – рассмотреть характеристики вероятностных математических моделей.

Методы исследований.

При рассмотрении вероятностных математических моделей, применяемых в диагностике, используются теория вероятностей и математическая статистика.

Результаты исследований.

Вероятностные модели делятся на модели квазидетерминированных случайных процессов, стационарных случайных процессов и импульсных случайных процессов.

Модели квазидетерминированных случайных процессов.

Процесс представляется в виде функций известного вида, зависящий от конечного числа постоянных коэффициентов. При этом используется теория планирования эксперимента, корреляционный и регрессионный анализ.

Модель получают в виде уравнения регрессии вида:

$$y = a + a_1x_1 + a_2x_2 + \dots + a_nx_n \quad (1)$$

Основными характеристиками таких моделей являются математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации.

Такие модели нашли широкое применение при определении общего технического состояния агрегатов и машины в целом.

Модели стационарных случайных процессов.

Эти модели применяются в случаях, когда вероятностные характеристики не изменяются при сдвиге во времени.

Математическое ожидание (среднее значение) и среднее квадратическое отклонение остаются постоянными. При разработке таких моделей используют спектральный анализ. Основной характеристикой стационарного случайного процесса является спектральная плотность. Она представляет собой энергию, сосредоточенную в определенной полосе частот [1].

$$G_X(\omega) = \int_{\omega_1}^{\omega_2} F_X^2(\omega) d\omega \quad (2)$$

где $G_X(\omega)$ – спектральная плотность; $F_X^2(\omega)$ – средний квадрат исследуемого процесса в полосе частот (ω_1, ω_2) , $(В/Гц)^2$; ω_1, ω_2 – нижняя и верхняя граничные частоты, Гц.

При определении технического состояния машин следует учесть, что такие агрегаты машин, как двигатель и коробка передач циклического принципа

действия. Спектр такого случайного процесса представляет гармонические колебания с различной амплитудой и сосредоточен на одной частоте.

Таким образом, спектральная плотность на участке определенной длительности будет равна сумме амплитудных дискретных спектров на отрезках i -ых гармонических составляющих [2]:

$$G_X(\omega)_T = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N G_{Xi}(\omega) \quad (3)$$

где N – число отрезков на участке шириной T ; $G_{Xi}(\omega) = \frac{X^2}{2}$ – амплитудный дискретный спектр i -ой составляющей спектра сигнала процесса.

Такие модели используются для выделения полезного (диагностического) сигнала отдельных кинематических звеньев механизмов и агрегатов с циклическим принципом действия.

Модели импульсных случайных процессов.

Предполагается, что имеется импульсная последовательность, в которой импульсы меняют свою амплитуду, длительность и форму.

Если импульсы следуют с постоянным периодом, то их спектр состоит их дискретных и непрерывных составляющих. Поэтому в качестве таких моделей можно использовать модели стационарных случайных процессов, а значит использовать спектральный анализ и его характеристики.

Выводы

Для решения задач определения общего технического состояния машин следует использовать модели квазидетерминированных случайных процессов.

При определении технического состояния отдельных кинематических звеньев используются модели стационарных случайных процессов, в более редких случаях модели импульсных случайных процессов.

Библиографический список

1. Вибрации в технике. Справочник в 6 томах. Том 5. Под редакцией М. Д. Генкина. – М. Машиностроение, 1981 – 496с.
2. Хейнлейн В.Е., Холмс В.Х. Активные фильтры для интегральных схем. – М.: Связь, 1980.- 656 с.

Сведения об авторах

ФИО	Мартынов Борис Григорьевич
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 Тарабан Мария Всеволодовна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7023-1741
e-mail arcas65@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 —
e-mail lesbisnes@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены математические модели, применяемые при техническом диагностировании машин. Определены характеристики, используемые при применении различных моделей, а также методы, которые используются для решения задач технического диагностирования.

Ключевые слова: математические модели, техническое диагностирование машин, случайные процессы, характеристики процессов, применение моделей.

УДК 51-74

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 27.35.00

Актуальные вопросы лесного машиностроения

Андронов А.В., Мартынов Б.Г., Спиридонов С.В., Тарабан М.В.

Введение

Российская Федерация обладает более 800 млн. га лесных запасов, которые занимают около 45% территории России. Ежегодный объем лесозаготовок составляет более 220 млн. куб. м и растет с каждым годом.

Лесозаготовительная отрасль – ключевое звено ЛПК. Эффективность лесозаготовительных работ во многом определяется техническим уровнем и показателями эксплуатации лесозаготовительной техники. Такая техника необходима для освоения и восстановления лесных ресурсов, строительства лесных дорог, предотвращения и тушения лесных пожаров, защиты линейных сооружений от древесно-кустарниковой растительности, подготовки трасс нефте- и газопроводов в лесных массивах.

В тоже время, отечественное лесное машиностроение находится в практически разрушенном состоянии, что обусловлено последними 20-30 годами планомерного уничтожения всех наработок советских/российских инженеров и ученых. Отсутствие базовых машин с адекватным уровнем комфорта, безопасности, экономичности и экологической совместимости привело к засилью на российском рынке зарубежной лесозаготовительной техники. По экспертным оценкам парк лесозаготовительных машин в настоящее время на предприятиях лесопромышленного комплекса и лесного хозяйства составляет более 40,0 тысяч единиц, в том числе в лесопромышленном комплексе – 27,0 тысяч в лесном хозяйстве, около 12,0 тысяч единиц – в структурах малого бизнеса. Наибольшую долю среди импортных машин составляют машины следующих фирм: «John Deere» (США и Канада), «Ponsse» (Финляндия), «Komatsu-Forest Valmet» (Япония, Финляндия). В основном это харвестеры и форвардеры на колесной базе. Наиболее емким сегментом рынка лесозаготовительной техники в России являются машины для сортиментной технологии заготовки древесины – харвестеры и форвардеры, объем продаж которых составляет в настоящее время около 75 % от всего объема продаж в денежном выражении.

Методы и результаты исследования

Сегодня на Российском рынке безраздельно правят зарубежные производители лесозаготовительного оборудования. Их техника заслуженно признана потребителями, хотя и дорогой, но надежной, качественной, обладающей прекрасной сервисной поддержкой. Однако надо понимать и то, что, попадая практически в 100%-ную зависимость от западных поставщиков существуют весьма значительные и неспрочитываемые риски как ценовые, так и поставок а целом, что может отразиться на себестоимости лесозаготовок и общем их снижении. Создать сегодня, практически с нуля, современное конкурентоспособное производство, способное потеснить зарубежного производителя является технически непростой и весьма затратной программой. Вместе с тем, ежегодно в Россию из-за рубежа поставляется около 1000 единиц машин участвующих в лесозаготовительной деятельности и российское машиностроение теряет в год, по экспертной оценке, платежеспособный спрос на сумму 12-15 млрд. рублей.

В результате отечественный рынок потребляет технику и технологии, которые активно продвигаются на рынке маркетологами /дилерами/продавцами, но не инженерами, что приводит к повышенным затратам ресурсов на всех этапах лесозаготовки и, кроме того, к ухудшению состояния лесной экосистемы, захламлению лесных территорий лесосечными отходами и разрушению структуры лесных почвогрунтов.

Вместе с тем, отечественная школа лесного машиностроения находится на грани вымирания: ученые и инженеры «советского периода» не могут принимать участие в создании новых машин и технологий по причине смены рода занятий, а молодые и талантливые инженеры не способны создавать конкурентоспособную лесозаготовительную машину из-за отсутствия специализированных организаций и финансирования таких работ. Разнообразие природно-производственных и климатических условий России приводит к тому, что условия эксплуатации для лесозаготовительной техники значительно отличаются по регионам России. Одновременно, активно продвигается на российском рынке так называемая «скандинавская» технология сортиментной заготовки и соответствующая ей техника. Растет присутствие на рынке подержанной техники, поставляемой из скандинавских стран, Германии, Польши и т.д., существующее таможенно-тарифное регулирование в России практически не препятствует ее ввозу. Сегодня на лесозаготовительных предприятиях эксплуатируется физически и морально устаревшая лесная техника на базе трелевочных промышленных тракторов ТДТ-55, ТЛТ-100А, ТТ-4, ТТ-4М, созданных в советский период для работы в лесу по так называемой «хлыстовой» технологии лесозаготовок.

В советский период в России производством и ремонтом лесозаготовительных машин были заняты более 30 заводов, которые выпускали машины около 100 наименований лесной техники.

Оценка сложившегося российского рынка лесных машин преимущественно зарубежного производства и отсутствия у лесопромышленных предприятий возможности приобретения российских лесозаготовительной техники свидетельствует о критическом положении отечественного лесного машиностроения и необходимости создания специальной структуры по разработке современных лесных машин и организации их производства на российских заводах лесного машиностроения. В первую очередь требуется создание и организация производства отечественных лесных машин, наиболее востребованных лесопромышленным комплексом: валочно-сучкорезно-раскряжевочные машины (харвестеры); трелевочные погрузочно-транспортных машины (форвардеры); трелевочные колесные машины; гусеничные многооперационные машины; машины для переработки и утилизации лесосечных отходов.

Наиболее существенным ограничением для реализации импортозамещения является зависимость от импортного оборудования, которую невозможно преодолеть быстро и эффект импортозамещения в краткосрочной перспективе ограничен имеющимися незагруженными мощностями. Для повышения эффективности процесса импортозамещения целесообразно проводить

скоординированную политику управления закупками, направленную на формирование спроса на продукцию отечественного машиностроения.

В стране практически полностью разрушена производственная база по изготовлению машин, ликвидированы или находятся в стадии стагнации заводы: Алтайский, Сыктывкарский, Красноярский, Пермский, Екатеринбургский, Йошкар-Олинский, НПО «Лесагросервис» Онежский тракторный завод и другие. Парк лесозаготовительной техники находится в эксплуатации выше нормативных сроков и нуждается в интенсивной замене. На лесозаготовках крайне медленно растет уровень механизации лесосечных работ, остается значительная доля ручных работ на самой трудоемкой и травмоопасной операции – валке леса с помощью бензопил. Трудоемкая и травмоопасная операция – валка леса более чем на пятьдесят процентов выполняется вальщиками леса с помощью бензопил.

Однако попытки воссоздать или создать заново производство носят несистемный, фрагментарный характер, что не может привести к созданию полноценной конкурентной среды на российском рынке лесозаготовительной техники.

Восстановление отечественного лесного машиностроения невозможно без использования отечественного и зарубежного научно – технического потенциала, государственной поддержки инновационной деятельности и отраслевой научно – технической сферы, закупки лицензий, организации совместных производств и является одной из основных предпосылок инновационного развития лесного комплекса России.

В рамках современных условиях санкций и ухода ведущих мировых компаний с рынка РФ предлагается возобновить работы по созданию отечественных лесозаготовительных машин конкурентоспособного уровня.

Первым этапом должен стать анализ и условия применения в лесу различной лесозаготовительной техники, консолидация опыта, накопленного российскими учеными в области лесного машиностроения с современными подходами к проектированию перспективных лесозаготовительных машин.

Наиболее оптимальным путем развития отечественного лесного машиностроения может быть создание Научно-производственного Центра (далее – Центр) на базе действующего лесного вуза. Например, в Санкт-Петербургском лесотехническом университете (СПбГЛТУ) накоплен большой опыт в разработке новых технических и технологических решений на уровне изобретений и полезных моделей, позволяющих существенно повысить эффективность лесозаготовительных и лесохозяйственных операций. Университет имеет опытные научные кадры. Основной задачей такого Центра будет являться разработка по государственным заданиям линейки наиболее

востребованных лесной отраслью машин (лесозаготовительных, трелевочных, погрузочных и т.п.) для эксплуатации в разных природно-производственных условиях России. Производство лесных машин может быть организовано на действующих в России предприятиях по промышленной сборке, а испытания лесной техники и маркетинговые исследования по ее продажам – научными сотрудниками Центра в рамках частно-государственного партнерства.

Вместе с тем, создание подобного Центра только на основе ВУЗа не даст окончательного экономического эффекта. Несомненно, без финансового участия государства подобная программа состояться не сможет. Требуются средства на финансирование НИОКРа, приобретения лицензий и т.д. В данном контексте участие ресурсной и интеллектуальной базы Минпромторга России и Минорбнауки России имеет кардинальное значение. Вместе с тем, программу требуется координировать, осуществлять обратную связь с предприятиями ЛПК, а вновь создаваемую продукцию требуется продвигать на рынке. Для этого имеет смысл привлечь представителей профильного сообщества, обладающего необходимыми отраслевыми компетенциями и в тоже время серьезным авторитетом, и Союз лесопромышленников и лесоэкспортеров России как нельзя более подходит для этой роли.

Основной магистральным направлением при создании семейства отечественных лесозаготовительных машин следует считать так называемую «модульную концепцию», различные варианты воплощения которой описывались в различное время учеными и инженерами не только применительно к сфере лесного машиностроения. В данной концепции главенствующая роль отводится энергетическому модулю/тяговой машине с которой агрегируются различные технологические модули, расширяющие сферу применения базового модуля/машины. Наглядным примером реализации положений данной концепции может служить модульный модельный ряд компании Komatsu America Corp. (рисунок).

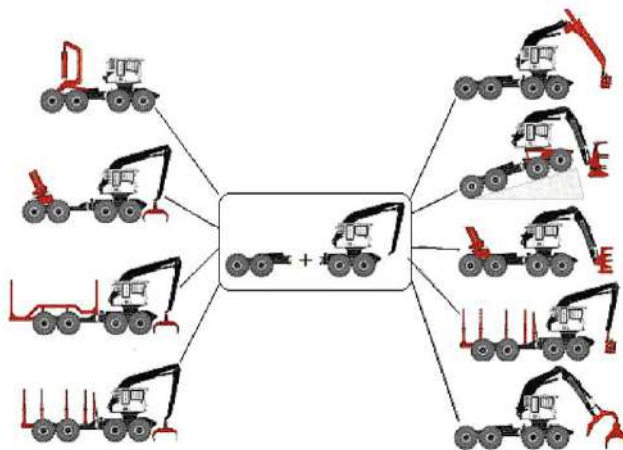


Рисунок. Модульный модельный ряд компании Komatsu America Corp

Вторым направлением деятельности Центра в рамках реализации Концепции развития отечественного лесного машиностроения, представленной выше, следует считать разработку современных программно-аппаратных средств для лесного комплекса, в частности – тренажеров-симуляторов лесной техники.

К третьему направлению деятельности Центра относится подготовка и сертификация специалистов в лесном комплексе.

Выводы

В результате вышесказанного для реализации такого крупномасштабного проекта необходима Федеральная программа поддержки Российского лесного машиностроения, основой которой будет создание Научно-производственного центра развития Российского лесного машиностроения

Сведения об авторах

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 8345-3722
e-mail andronovalexandr@gmail.com

ФИО Мартынов Борис Григорьевич
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 Спиридонов Сергей Васильевич
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 Тарабан Мария Всеволодовна

Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7023-1741
e-mail	lesbisnes@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы использования подхода к импортозамещению в лесной отрасли. Обоснованы причины перехода на отечественную технику и направления развития лесного машиностроения в РФ.

Ключевые слова: лесное машиностроение, лесозаготовительная техника, импортозамещение, научно-производственный центр.

УДК 621.0

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.01.00

Перспективы применения аддитивных технологий в лесном машиностроении

Марков В.А., Иванов А.М.

В современном мире все большую роль начинает играть применение аддитивных технологий в различных сферах жизни человечества. Аддитивные технологии так или иначе применяются абсолютно во всех сферах: будь то тяжелое машиностроение, ракетостроение, жилищное строительство, медицина (3D-биопринтинг) или же даже частное использование. С момента зарождения технологии в 1980-х XX-го века, аддитивные технологии развились настолько, что уже нередко можно встретить 3D-принтеры и в домах, никак не связанных с какой-либо промышленной отраслью, энтузиастов. Так же аддитивные технологии являются крайне перспективными для применения в лесном машиностроении [2].

В лесном машиностроении, как и в любом другом направлении машиностроения, аддитивные технологии имеют целый ряд преимуществ, таких как:

- Изготовление деталей с геометрией любой сложности, что оставляет далеко позади возможности традиционных методов.
- Оптимизация таких параметров изделий, как точность и прочность, а также снижение массы за счет создания крайне тонких стенок, внутренних каналов и бионических структур.

- Ускорение и снижение стоимости производственного процесса: нет необходимости использовать дорогостоящую оснастку, а в отдельных случаях – механическую обработку.
- Повышение рентабельности изготовления мелкосерийной и кастомизированной продукции.
- Снижение рисков и ошибок проектирования, в том числе за счет возможности изменения конструкции на поздних этапах проектирования.
- Управление физико-механическими свойствами продукта благодаря использованию высокотехнологичных материалов.

Каждый из вышеперечисленных пунктов позволит так или иначе оптимизировать или же качественно улучшить процессы разработки, изготовления и эксплуатации машин лесного комплекса [4].

Но, также стоит заметить, что реализация в полном объеме большей части из описанных преимуществ в современных реалиях может потребовать серьезной перестройки производственного процесса, что несет в себе серьезные риски и затраты для предприятий, которые, на данный момент, будут готовы нести далеко не все. Поэтому стоит вносить изменения в отрасль постепенно.

Наиболее подходящим кандидатом для начала внедрения аддитивных технологий можно считать сферу технического обслуживания. К примеру, уже сегодня возможно и целесообразно внедрить на предприятия занимающиеся лесозаготовкой программно-технический продукт, который бы позволил восстанавливать или же изготавливать новые, за замену поврежденным, детали и узлы лесозаготовительной техники [3].

Внедрение аддитивных технологий позволит существенно упростить, снизить стоимость и повысить скорость производимого ремонта. Данный эффект образуется, в основном, за счет логистического фактора, т.к. нередко предприятия лесозаготовки находятся в труднодоступных или же отдаленных от развитой инфраструктуры районах. Так, например, можно повысить скорость производимого ремонта за счет отсутствия необходимости в логистическом обеспечении восстановительного ремонта или же закупки новых деталей и узлов, что в свою очередь так же понизит и общую стоимость ремонтных работ. Так же внедрение аддитивных технологий в процесс ремонта позволит существенно упростить его за счет возможности изготовления специализированного инструмента, основанного на текущих потребностях технического персонала [1].

Из вышеописанного можно сделать вывод, что внедрение аддитивных технологий в лесное машиностроение является крайне перспективным направлением развития. Внедрение данной технологии позволит существенно улучшить процессы разработки, изготовления и эксплуатации машин лесного комплекса.

Библиографический список

1. Валетов, В.А. Аддитивные технологии (состояние и перспективы): учебное пособие / В. А. Валетов. – Санкт-Петербург: ИТМО, 2015. – 63 с.
2. Зленко, М.А. Аддитивные технологии в машиностроении: пособие для инженеров / М.В. Нагайцев, В. М. Довбыш. – Москва: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ». – 2015. – 220 с.
3. Трофимов, А.В. Компьютерные технологии в машиностроении. Аддитивные технологии: учебное пособие / Трофимов А. В. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2019. – 72 с.
4. Антонова В.С., Осовская И.И. Аддитивные технологии: учебное пособие / ВШТЭ СПбГУПТД. СПб., 2017.-30 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 1503-7932
e-mail mactor85@mail.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 9775-4150
e-mail andreyiv1997@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрены примеры использования аддитивных технологий в промышленности. Проанализированы преимущества внедрения аддитивных технологий в лесное машиностроение, выбрано направление внедрения данной технологии. Рассмотрен и проанализирован пример внедрения аддитивных технологий в сферу технического обслуживания лесозаготовительной техники.

Ключевые слова: аддитивные технологии, лесное машиностроение, ремонт лесозаготовительной техники.

УДК 621.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.01.83

Анализ строительных сталей для изготовления манипуляторов лесных машин

Зверев И.А., Андронов А.В., Тихомиров О.С.

Введение

Металлоконструкция манипуляторов лесных машин конструктивно представляет из себя стальные сварные балки коробчатого сечения (рис. 1).

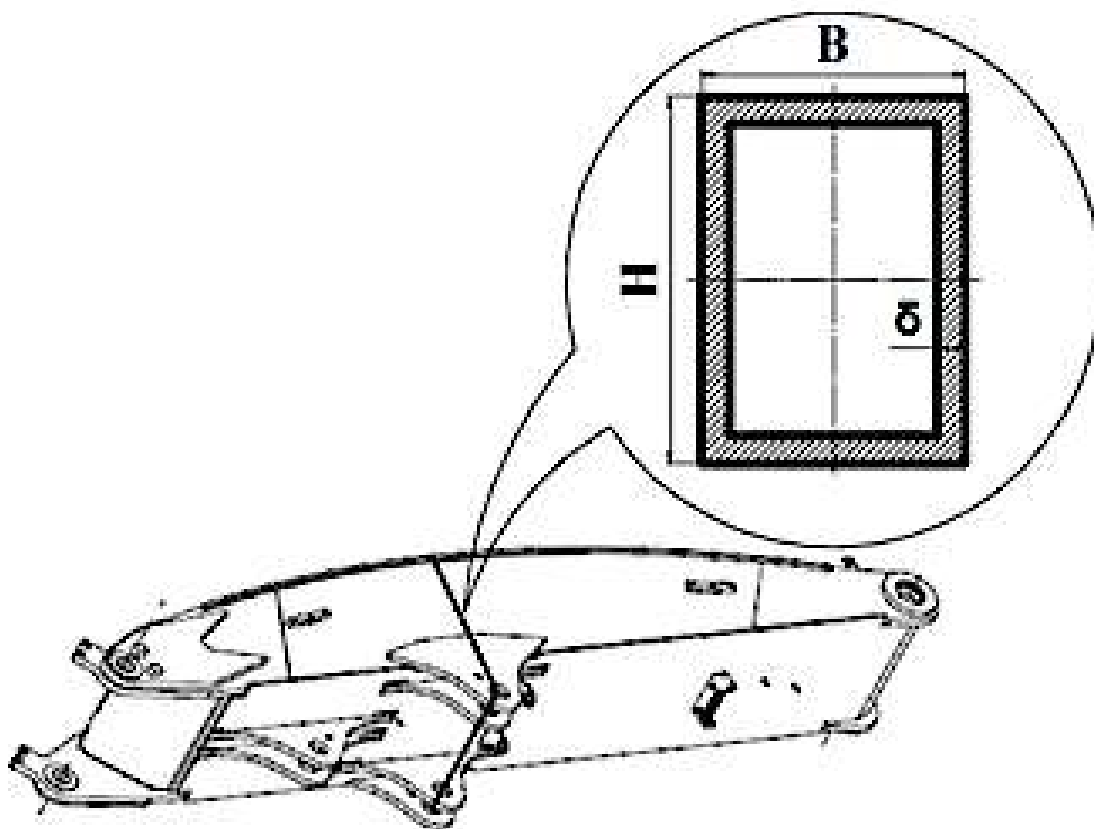


Рисунок 1. Сечение стрелы манипулятора валочно-пакетирующей машины

Очевидно, что основным технологическим свойством, которым должны обладать стали для изготовления манипуляторов – это свариваемость. При выборе марки стали также необходимо учитывать, что манипуляторы лесных машин работают в условиях динамических и знакопеременных нагрузок, а также имеют сложный характер нагружения. Поэтому манипуляторные стали должны обладать высокими прочностными свойствами, а также значениями ударной вязкости, сохраняющимися и при работе в условиях отрицательных температур.

Таким образом, для изготовления металлоконструкции манипуляторов лесных машин используют различные марки конструкционных малоуглеродистых низколегированных сталей (строительные стали), которые обладают вышеизложенными свойствами.

Цель работы – провести сравнительный анализ различных марок строительных сталей, используемых для изготовления металлоконструкции манипуляторов лесных машин.

Метод исследования – обзорно-аналитический и сравнительный анализ.

Результаты исследования.

В табл. 1 приведены основные механические свойства строительных сталей для изготовления металлоконструкции манипуляторов лесных машин [1], [2].

Таблица 1. Механические свойства рассматриваемых строительных сталей

Марка стали	$\sigma_{в.раст.}$, МПа	σ_T , МПа	Ударная вязкость при -40°C, кДж/м ²	Относительное удлинение, δ , %
15ХСНД	490	345	290	21
10ХСНД	530	390	390	19
14ХГС	490	345	390	22
19ХГС	540	345	340	18
16Х2ГСБ	690	590	390	14
09Г2С	450	325	390	21

В табл. 2 приведен химический состав строительных сталей для изготовления металлоконструкции манипуляторов лесных машин [1], [2].

Таблица 2. Химический состав рассматриваемых строительных сталей

Марка стали	C	Si	Cr	Ni	Cu	Mn	Nb
15ХСНД	0,12-0,18	0,40-0,70	0,60-0,90	0,30-0,60	0,20-0,40	0,40-0,70	—
10ХСНД	До 0,12	0,80-1,10	0,60-0,90	0,50-0,80	0,40-0,60	0,50-0,80	—
14ХГС	0,11-0,16	0,40-0,70	0,50-0,80	Не более 0,30	Не более 0,30	0,90-1,30	—
19ХГС	0,17-0,22	0,40-0,70	0,50-0,80	Не более 0,30	Не более 0,30	0,90-1,30	—
16Х2ГСБ	0,14-0,18	0,30-0,70	1,10-1,60	—	—	0,50-0,90	0,03-0,06
09Г2С	До 0,12	0,50-0,80	Не более 0,30	Не более 0,30	Не более 0,30	1,30-1,70	—

В первую очередь стоит отметить, что все рассматриваемые марки строительных сталей содержат не более 0,22% содержания углерода, т.е. они относятся к доэвтектоидным сталям и имеют феррито-перлитную структуру с преобладанием зерен феррита и расположенного по их границам зерен перлита (рис. 2). Низкое содержание углерода сдерживает объемные изменения происходящие в околошовной зоне металла, вызванные процессом распада аустенита, что снижает вероятность возникновения холодных трещин [3]. Также преобладание феррита в структуре строительных сталей позволяет осуществлять гибку листов при изготовлении профилей металлоконструкции манипулятора, не опасаясь возникновения трещин в процессе деформации металла.

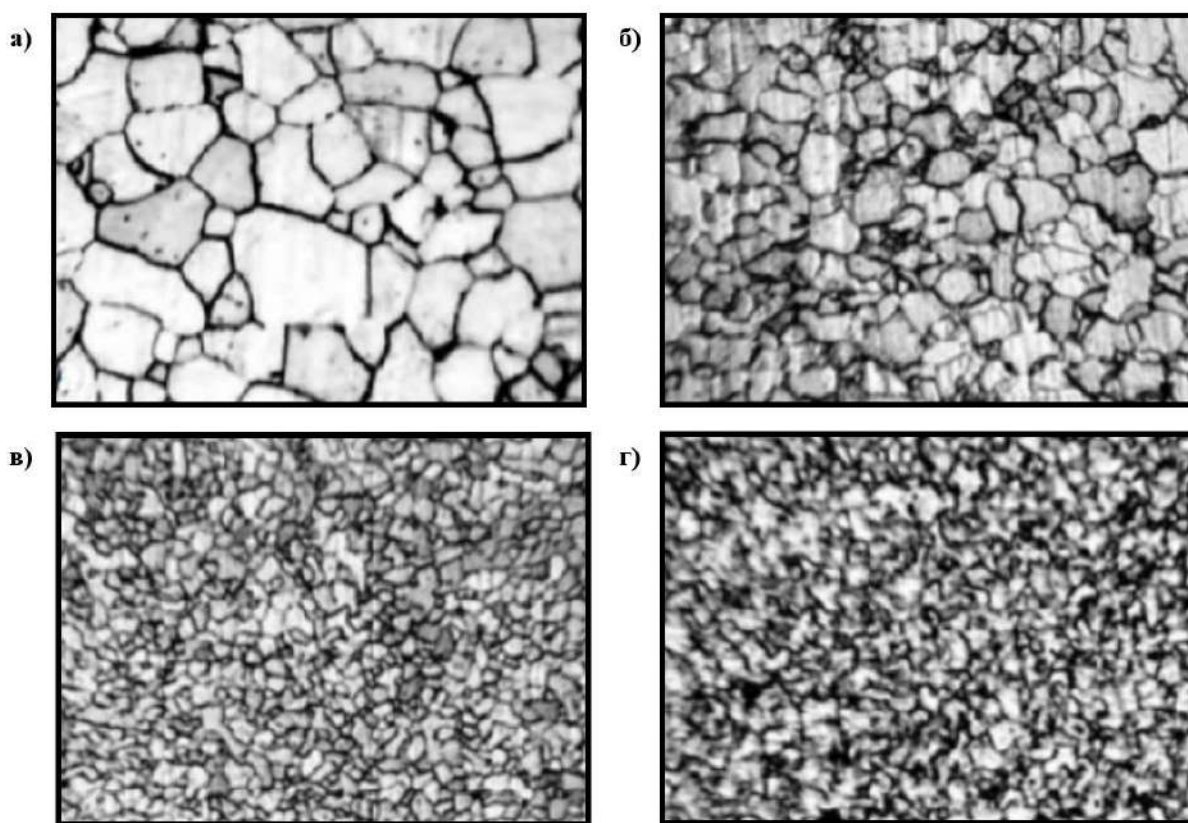


Рисунок 2. Микроструктура строительных сталей в состоянии поставки и после отжига (X400): а, в – сталь 09Г2С; б, г – сталь 10ХСНД

Также все из представленных сталей легированы кремнием и марганцем в процентном соотношении от 0,3 до 1,10% и от 0,40 до 1,70%, соответственно. Кремний увеличивает свариваемость стали, а также улучшает коррозионную стойкость, которой существенно подвержены металлоконструкции манипуляторов лесных машин из-за постоянной эксплуатации в неблагоприятных погодных условиях.

Марганец несколько увеличивает предел прочности и текучести сталей, а также благоприятно влияет на измельчение зерен феррита и увеличение упрочняющей фазы.

Большинство строительных сталей манипуляторов лесных машин дополнительно легированы хромом, который при взаимодействии с углеродом образует химическое соединение, называемое карбидом хрома, которое повышает твердость и прочностные свойства сталей. Например, сталь 16Х2ГСБ с содержанием углерода 0,14-0,18% легирована 1,10-1,60% хрома, что делает ее одной из самых прочных среди представленных сталей. Также данная марка стали включает в свой состав 0,03-0,06% ниобия, что повышает прочность и ударную вязкость стали, а также снижает критическую температуру хрупкости за счет измельчения зерен феррита [4].

Такие марки строительных сталей, как 10ХСНД и 15ХСНД дополнительно микролегированы медью (от 0,20 до 0,60%) и никелем (от 0,30 до 0,80%).

Содержание в структуре представленных сталей меди, повышает их коррозионную стойкость и усталостную прочность. При содержании меди до 0,6% (сталь 10ХСНД) увеличивается предел прочности и текучести стали.

Никель снижает критическую температуры хрупкости, увеличивает долю упрочняющей фазы за счет измельчения зерен феррита и повышает прочность стали [5].

Заключение.

Применение малоуглеродистых низколегированных строительных сталей в качестве материала для изготовления металлоконструкции манипуляторов лесных машин объясняется их высокой свариваемостью, коррозионной стойкостью и достаточно высокими прочностными свойствами.

Из всех рассматриваемых в работе строительных сталей наибольшими значениями предела прочности и текучести обладают стали марок 16Х2ГСБ и 10ХСНД. Их использование предпочтительнее для изготовления манипуляторов валочно-пакетирующих машин, харвестеров и других машин, работающих с крупными деревьями.

Стали марок 14ХГС, 19ХГС и 09Г2С целесообразнее использовать при производстве манипуляторов форвардеров, скиддеров и лесотранспортных машин в силу менее высоких нагрузок на их металлоконструкцию.

Библиографический список

1. ГОСТ 19281-2014
2. ГОСТ 6713-91
3. Материаловедение: учеб. для студентов вузов / В.С. Кушнер, А.С. Верещака, А.Г. Схиртладзе, Д.А. Негров, О.Ю. Бургонова.; под ред. В.С. Кушнера. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 232 с.
4. Ф. Хайстеркамп, К. Хулка, Ю.И. Матросов, Ю.Д. Морозов, Л.И. Эфрон, В.И. Столяров, О.Н. Чевская. Ниобийсодержащие низколегированные стали – М.: «СП ИНТЕРМЕТ ИНЖИНИРИНГ», 1999. – 94 с.
5. Копцева Н.В. Влияние легирующих элементов. [Электронный ресурс]. 2021. URL: https://newlms.magtu.ru/pluginfile.php/1741682/mod_resource/content/1/Влияние%20легирующих%20элементов.pdf (дата обращения 31.03.2022).

Сведения об авторах

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	1126-2121
e-mail	igorzv1997@gmail.com

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 8345-3722
e-mail andronovalexandr@gmail.com

ФИО Тихомиров О.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 ovel1602@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрены основные марки строительных сталей, используемых для изготовления металлоконструкций манипуляторов лесных машин. Приведены основные механические свойства и химический состав сталей, а также рассмотрено влияние легирующих элементов на их свойства. Проведен сравнительный анализ и даны рекомендации по применению различных марок сталей при создании манипуляторов лесных машин.

Ключевые слова: строительная сталь, манипулятор, предел прочности, коррозионная стойкость, ударная вязкость; building steel, manipulator, strength limit, corrosion resistance, impact strength.

УДК 620*22

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.09.29

Применение чугунов в области проектирования лесных машин

Зверев И.А., Трофимов А.В., Волков А.Ф.

Введение

Основными материалами, применяющимися при создании лесных машин, являются сплавы железа и углерода – стали и чугуны. Подавляющее большинство деталей (порядка 70%) изготавливается из сталей различных марок, около 20% приходится на чугуны, остальные 10% на неметаллические материалы и сплавы цветных металлов. Чугун, по отношению к стали, обладает более высокой жидкотекучестью, что повышает эффективность изготовления деталей сложной конфигурации методом литья.

Чугуны – это железоуглеродистые сплавы с содержанием углерода от 2,14 до 6,67% [1], [2]. По сравнению со сталью, чугуны обладают рядом как

положительных, так и отрицательных свойств, связанных, в первую очередь, с присутствием в структуре свободного углерода в виде графита.

К положительным свойствам можно отнести: высокую жидкотекучесть, твердость, коррозионную стойкость и износостойкость; способность гасить вибрации; хорошую обрабатываемость резанием, жаропрочность и жаростойкость; более низкую себестоимость производства.

Из отрицательных свойств можно выделить: невысокие пределы прочности при растяжении, изгибе и кручении; малую способность к пластической деформации; невысокую ударную вязкость.

Цель работы – определить области применения различных групп чугунов для изготовления деталей лесных машин на основании анализа их механических свойств.

Методы исследования – функциональный и сравнительный анализ.

Результаты исследования.

В лесном машиностроении применяют четыре группы чугунов: серые, высокопрочные, ковкие и легированные. Основные параметры механических свойств, наиболее характерных представителей групп, приведены в таблице 1.

Таблица 1. Механические свойства чугунов, применяемых в лесном машиностроении

Материал	$\sigma_{в.раст.}$, МПа	$\sigma_{в.изг.}$, МПа	Ударная вязкость, кДж/м ²	Относительное удлинение, δ , %	Твердость по Бринеллю НВ
СЧ15	150	300	27	0,2	201
СЧ40	390	585	83	0,2	285
ВЧ35	350	700	220	22	170
ВЧ50	500	1000	210	5	245
КЧ35-10	342	684	245	10	149
КЧ37-12	360	720	216	12	149
КЧ60-3	585	1170	210	3	269
ЧХ2	150	310	—	—	286
ЧНХТ	200	400	—	—	590
ЧНХМД	290	690	—	—	286
ЧН2Х	290	490	—	—	280
ЧНМШ	490	840	190	2	286
ЧН20Д2Ш	500	930	300	25	220

В серых чугунах (СЧ-15, СЧ-40) свободный углерод представлен в виде пластинчатого графита, пронизывающего материал и ослабляющего его структуру. Химический состав и физико-механические свойства серых чугунов регламентируются по ГОСТ 1412-85.

Серые чугуны можно разделить на ферритные и перлитные. Ферритный серый чугун, например СЧ15, хорошо гасит вибрации, его можно использовать в качестве материала для изготовления отливок корпусов раздаточных коробок

харвестеров, форвардеров и скиддеров, крышек планетарных редукторов гусеничного привода ВПМ и других слабо- или средненагруженных деталей.

Перлитный серый чугун (СЧ35, СЧ40, СЧ45) имеет: более мелкие включения графита, в состав входит карбид железа, благодаря чему он является более герметичным (меньшая пористость) и прочным материалом. Из перлитного серого чугуна можно изготавливать корпуса более нагруженных агрегатов: аксиально-поршневых гидронасосов и гидромоторов привода технологического оборудования лесных машин, гильзы гидравлических цилиндров, корпуса масляных насосов системы смазки ДВС, корпуса гидрораспределителей и др.

В высокопрочных чугунах (ВЧ35, ВЧ50) свободный (вторичный) углерод представлен в форме шаровидных включений. Такая форма графита не создает резкой концентрации напряжений в объеме материала. Химический состав и физико-механические свойства высокопрочных чугунов регламентируются по ГОСТ 7293-85.

Прочностные свойства высокопрочного чугуна существенно выше, чем у серого [2]. Однако, выше и себестоимость производства, что ограничивает возможности его применения.

Перлитный высокопрочный чугун таких марок, как ВЧ50, ВЧ60 и ВЧ70 используются для изготовления коленчатых и распределительных валов силовых установок лесных машин. Литые валы лучше гасят крутильные колебания, обладают повышенной износостойкостью основных поверхностей за счет включений графита, а также имеют меньшую массу.

Ковкие чугуны представляют из себя железобуглеродистые сплавы со свободным углеродом в форме хлопьевидных включений графита. По своим прочностным свойствам и себестоимости производства (отжиг отливок дешёвого белого чугуна) материал занимает промежуточное положение между серым и высокопрочным чугунами [2]. Химический состав и физико-механические свойства этой группы регламентируются по ГОСТ 7293-85.

Ковкие чугуны с ферритной металлической основой (КЧ35-10, КЧ37-12) хорошо работают в условиях повышенных динамических нагрузок за счет демпфирующих свойств хлопьевидных включений графита. Материал можно использовать для изготовления более нагруженных корпусных изделий: картеры задних мостов и дифференциалов, ступицы колес и балансиров тандемных тележек харвестеров и форвардеров.

Перлитный ковкий чугун менее пластичен, но обладает большей твердостью и износостойкостью (присутствие в структуре цементита). Из перлитного ковкого чугуна (КЧ60-3, КЧ70-2) можно изготавливать вилки

карданных валов и кулачковые муфты раздаточных коробок харвестеров и форвардеров, тормозные колодки лесовозов и пр.

Отдельного внимания заслуживает чугун, обладающий специальными свойствами, которые обеспечиваются добавкой легирующих элементов, таких как хром, кремний, никель, медь и др. Химический состав и физико-механические свойства легированных чугунов регламентируются по ГОСТ 7769-82.

В лесном машиностроении легированный чугун применяется, в основном, для изготовления деталей дизельных ДВС, работающих при высокой температуре в условиях внешнего трения или обладающих повышенной антикоррозионной стойкостью. Например, чугун ЧХ2 применяется для изготовления выпускных коллекторов, так как легирование хромом создает на поверхности отливок нейтральную оксидную пленку повышающую жаростойкость [3].

Из чугуна ЧНХТ можно изготавливать заготовки (маслоты) для поршневых колец ДВС, а также седла и направляющие клапанов. Помимо хрома, представленный чугун дополнительно легирован никелем (0,3-0,7%) и титаном (0,05-0,12%), что дополнительно повышает его жаростойкость, а также увеличивает износостойкость и коррозионную стойкость [4].

Для изготовления гильз цилиндров ДВС применяется чугун ЧН2Х, так как с увеличением количества хрома повышается жаростойкость и температура в которой может эксплуатироваться деталь. Поршни ДВС лесных машин можно отливать из легированного чугуна с шаровидным графитом марки ЧНМШ. Легирование никелем в пределах от 0,5 до 0,8 позволяет существенно повысить прочность, а добавка молибдена в пределах от 0,6 до 0,9% способствует увеличению твердости чугуна [5].

Для изготовления натяжного колеса и звездочки привода гусеничного движителя ВПМ методом литья можно использовать легированный чугун с шаровидным графитом марки ЧН20Д2Ш, обладающий механическими свойствами сопоставимыми с литейной сталью марки 45Л ($\sigma_B = 550\text{МПа}$, $KCU = 250\text{ кДж/м}^2$, HB200).

На рисунке представлена схема классификация чугунов, и возможная область их применения в конструкции лесных машин.

Заключение.

В лесном машиностроении чугуны используются в основном для изготовления корпусных деталей сложной формы методом литья, а также для изготовления деталей со специальными эксплуатационными свойствами, такими как жаростойкость, износостойкость и коррозионная стойкость (детали силовых установок).

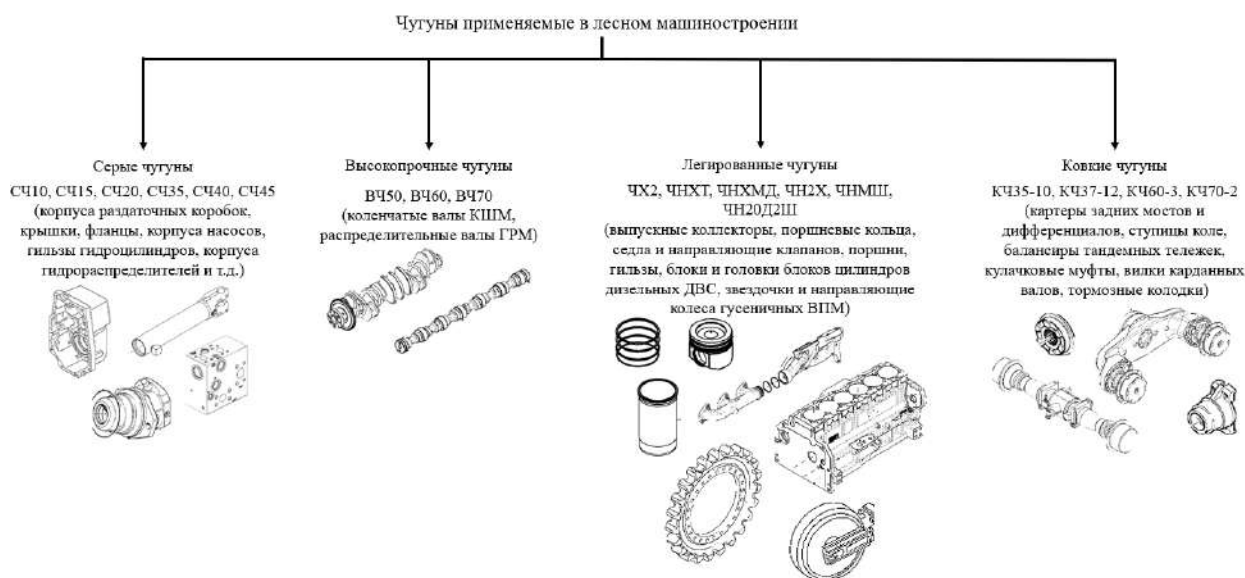


Рисунок. Классификация чугунов область их применения

Применение чугунов для изготовления ответственных деталей лесных машин, работающих в условиях динамических нагрузок, ограничено. Причина – недостаточная прочность материала. Исключение составляют некоторые марки высоколегированных чугунов с шаровидной формой графита.

При выборе между чугуном и сталью в качестве материала для изготовления ответственных деталей особое внимание следует уделить динамическим нагрузкам, так как чугуны «плохо держат удар». Значение их ударной вязкости не превышает 300 кДж/м^2 .

Библиографический список

1. Материаловедение: учеб. для студентов вузов / В.С. Кушнер, А.С. Верещака, А.Г. Схиртладзе, Д.А. Негров, О.Ю. Бургонова.; под ред. В.С. Кушнера. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 232 с.
2. Гуляев А.П. Металловедение. Учебник для вузов. 6-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1986. 544 с.
3. Орехова А.И. Исследование и разработка способа управления первичной структурой хромистых чугунов с помощью модифицирования с целью повышения качества отливок. Автореф. дис. канд. техн. наук: 05.16.04. – Москва, 2010. – 22с.
4. Матвеева М. О., Шаповалова О. М. Влияние титана на формирование структуры чугуна/ Ж. «Металловедение и термическая обработка металлов». – 2008. - №1. – С.65-75.
5. Денис Габец, Андрей Марков. Исследование влияния легирующих элементов на структуру и свойства серых чугунов, работающих в условиях ударно-фрикционного износа / Ж. Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2019. – Том 21 №1. – С. 70-81.

Сведения об авторах

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	1126-2121
e-mail	igorzv1997@gmail.com

ФИО Трофимов 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 agregat9@yandex.ru

ФИО Волков А.Ф.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail volcharsonzz@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены марки серых, высокопрочных, ковких и легированных чугунов, которые можно использовать в конструкциях лесных машин. Приведены основные физико-механические параметры, проведён анализ соответствия условиям применения. Представлены примеры деталей лесных машин, которые могут быть изготовлены из чугуна различных марок.

Ключевые слова: лесные машины, серый чугун, высокопрочный чугун, ковкий чугун, легированные чугуны; forest machines, gray cast iron, high-duty cast iron, ductile iron, alloy cast irons.

УДК 620*22

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.09.31

Применение и роль стекла как конструкционного материала в лесном машиностроении

Зверев И.А., Трофимов А.В., Волков А.Ф.

Введение

Преимущественное применение металлических сплавов в лесном машиностроении сочетается с использованием широкого спектра неметаллических материалов (резина, полимерные материалы и др.). Важное место в конструкции машин занимает неорганическое стекло и материалы на его основе (кабины операторов), обеспечивая комфортные и безопасные условия труда.

Неорганическое стекло – это химически сложный материал, который получают в результате затвердевания переохлажденного расплава оксидов металлов и стеклообразующих компонентов, таких как оксиды бора, фосфора и др. [1], [2].

Стекло, в конструкции лесных машин, выполняет три основные функции.

1. Защита оператора от шумового воздействия в процессе выполнения технологических операций на лесосеке (пиление, обрезка от сучьев, раскряжевка и др.).
2. Защита оператора от ультрафиолетового излучения.
3. Защита оператора от механического воздействия, которое может быть вызвано «вылетом» из пильного механизма древесных фрагментов, частиц почвы, а также металлических осколков при разрыве пильной цепи или разрушении болтового крепления зубьев дисковой пилы.

Цель работы – провести сравнительный анализ неметаллических материалов, используемых в конструкции кабин операторов лесных машин.

Методы исследования – функциональный и стоимостной анализ.

Результаты исследования.

Наибольшее распространение в качестве материала для остекления кабин получили сталинит и триплекс. Рассмотрим основные преимущества и недостатки каждого из них с позиции эффективной эксплуатации.

Сталинит представляет из себя листовое неорганическое стекло, которое было подвержено закалке (с быстрым и равномерным охлаждением). Закалку, как метод повышения прочности стекла, можно считать одним из наиболее распространенных методов термической обработки [3]. Сталинит, по сравнению с обычным силикатным стеклом, обладает более высокой прочностью на изгиб и растяжение (в 1,5-3 раза) (табл. 1). Значение ударной вязкости также выше (примерно в 5 раз), однако сталинит все еще является довольно хрупким материалом, слабо защищающим от воздействия ударных нагрузок. При значительном ударном воздействии, материал разрушается и покрывается густой сеткой трещин (рис. 1а), что делает невозможным продолжение работы оператора из-за плохого обзора рабочей зоны.

Наибольшего распространения в остеклении не только кабин лесных машин, но и специальной техники получил триплекс – защитное стекло, получаемое путем склеивания двух неорганических стекол при помощи тонкой, бесцветной полимерной пленки, чаще всего изготовленной из бутафоль-поливинилбутирала [3]. Механические свойства триплекса во многом зависят от толщины и химического состава склеиваемых стекол, а также от материала полимерной пленки.

Требования к испытаниям по определению механических свойств триплекса, регламентируются ГОСТ Р 51136-98. Ударостойкое стекло класса защиты А3 способно выдержать трехкратное падение стального шара массой 4,11 кг с высоты 9,5 м, а стекло класса Б3 способно выдержать свыше 70 ударов обухом топора с энергией удара 350 ± 15 Дж [4].

Разрушение триплекса, в отличие от сталинита, не сопряжено с полной потерей обзорности рабочей зоны. Разрушение триплекса характеризуется концентрацией трещин только в зоне удара, остальная площадь стекла имеет существенно меньшее скопление трещин (рис. 1б). Осколки стекла при этом, удерживаются полимерной пленкой, а не выпадают, как в случае со сталинитом.

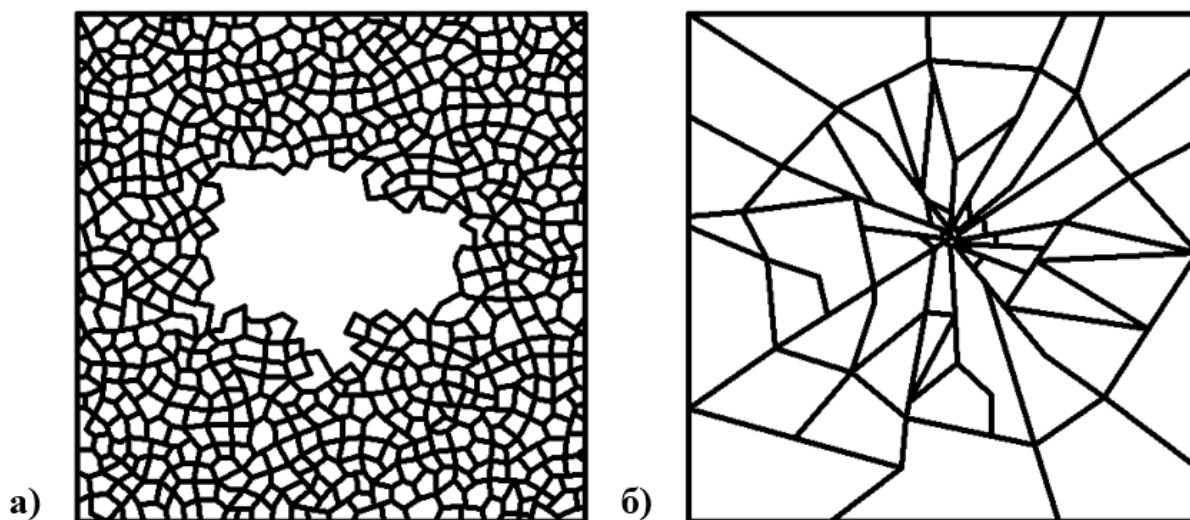


Рисунок 1. Характер разрушения сталинита (а) и триплекса (б)

Отдельного внимания заслуживают новые конструкционные материалы, такие как ситалл – стеклокристаллические материалы, получаемые на основе неорганических стекол, путем внедрения в их состав чистых металлов или оксидов. Внедрение металлов в стекло приводит к образованию кристаллической фазы. Ситалл, таким образом, обладает уникальной структурой, с кристаллической и аморфной фазами.

Следует отметить, что у ситалла отсутствует анизотропия свойств, в силу беспорядочной ориентации зерен. Механические свойства ситалла могут меняться в зависимости от режимов термической обработки. Если сравнивать материал с обычным неорганическим стеклом, то пределы прочности на растяжение, сжатие и изгиб несколько выше. Однако, ситалл является достаточно хрупким материалом, значение ударной вязкости не превышает $10,5$ кДж/м², что является недостаточным для условий эксплуатации лесосечных машин.

Из материалов, обладающих высокой степенью прозрачности, но созданных не на основе стекла, можно выделить антиабразивный монолитный поликарбонат (АМП) – полимерный материал, получаемый в результате

межфазной поликонденсации двухатомного фенола и угольной кислоты, с последующим нанесением высокостойкого силикона в качестве антиабразивного покрытия. АМП обладает высокими прочностными характеристиками, в том числе и ударной вязкостью, которая составляет свыше 1000 кДж/м². АМП пропускает до 85 % видимого спектра, что сопоставимо с прозрачностью обычного силикатного стекла [5]. К недостаткам АМП можно отнести его достаточно высокую стоимость.

Таблица 1. Сравнительные характеристики материалов для остекления кабин операторов лесных машин

Материал	$\sigma_{в.раст.}$, МПа	$\sigma_{в.сжат.}$, МПа	$\sigma_{в.изг.}$, МПа	Ударная вязкость, кДж/м ²	Плотность, кг/м ³	Цена, руб./м ² при толщине 4мм
Силикатное стекло	20-100	500-2000	20-100	1,5-2	2500	От 700
Сталинит	300	1100	250	7,5-10	2375	От 1500
Триплекс	Регламентируются по ГОСТ Р 51136-98					От 2500
Ситалл	160	2000	350	4,5-10,5	2910	От 6000
АМП	70	80	70	Не разруш. (<1000)	1200	От 10000

Заключение.

Для остекления кабин операторов лесных машин целесообразно использовать два наиболее подходящих материала – триплекс и антиабразивный монолитный поликарбонат (АМП).

При проектировании кабин операторов машин осуществляющих пиление древесины на лесосеке (ВПМ, харвестеры и др.) следует отдать предпочтение применению АМП, несмотря на высокую стоимость материала.

В конструкции кабин трелевочных тракторов, форвардеров и лесотранспортных машин экономически более целесообразно применять триплекс, так как отсутствует вероятность появления значительных ударных нагрузок на кабину машины.

Библиографический список

1. Белевитин, В.А. Материаловедение: неметаллические материалы [Текст]: учебное пособие / В.А. Белевитин – Челябинск: Изд-во Юж.-Урал. гос. гуман.-пед. ун-та, 2017. – 143 с.
2. Материаловедение: учеб. для студентов вузов / В.С. Кушнер, А.С. Верещака, А.Г. Схиртладзе, Д.А. Негров, О.Ю. Бургонова.; под ред. В.С. Кушнера. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2008. – 232 с.
3. Н.В. Никоноров, С.К. Евстропьев. «Оптическое материаловедение: основы прочности оптического стекла». Учебное пособие, курс лекций. СПб: СПбГУ ИТМО, 2009 г. – 102 стр.
4. ГОСТ Р 51136-98 Стекла защитные многослойные. Общие технические условия.
5. ООО «СафПласт». Поликарбонат, применение в современном строительстве. [Электронный ресурс]. 2008. URL: https://safplast.ru/upload/pdf-dokumenty/book_SafPlast_WEB.pdf (дата обращения 09.03.2022).

Сведения об авторах

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	1126-2121
e-mail	igorzv1997@gmail.com
ФИО	Трофимов 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	agregat9@yandex.ru
ФИО	Волков А.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	volcharsonzz@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены основные материалы, применяемые для остекления кабин операторов лесных машин. Приведены основные механические свойства материалов, а также рассмотрены их преимущества и недостатки. Проведен сравнительный анализ и даны рекомендации по применению в конструкции кабин операторов лесных машин.

Ключевые слова: неорганическое стекло, сталинит, триплекс, кабина оператора, ударная вязкость; inorganic glass, strained glass, triplex, operator's cabin, impact strength.

УДК 620*22

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.09.99

Общие вопросы применения математического моделирования в лесном машиностроении

Тарадин Г.С., Зверев И.А., Тюрина М.С.

Введение

Математическое моделирование – один из основных способов теоретического изучения объекта исследования, при котором сам объект заменяется на идеализированную модель с выделенными наиболее существенными свойствами, а исследование модели осуществляется посредством математических методов [1].

Лесное машиностроение является сложной и многоступенчатой отраслью тяжелого машиностроения, в состав деятельности которой входят: проведение прочностных расчетов деталей и узлов лесных машин, выбор подходящих по своим свойствам материалов, проектирование технологических процессов на изготовление деталей, узлов и агрегатов, исследование параметров надежности и др.

Очевидно, что проведение экспериментальных исследований на каждом из этапов создания лесных машин является достаточно дорогостоящим и трудоемким процессом, поэтому в лесном машиностроении активно применяются различные методы математического моделирования.

Цель работы – выделить наиболее распространенные виды математических моделей, применяемых в лесном машиностроении.

Методы исследования: логический и сравнительный анализ.

Результаты исследования.

При проектировании и проведении прочностных расчетов деталей лесных машин и металлоконструкции технологического оборудования (балки передних мостов харвестеров, манипуляторы, корпуса ЗСУ и пр.) активно применяют аналитические статические и динамические модели.

Например, расчет максимального нормального напряжения балки заднего моста харвестера представляет собой решение системы уравнений, записанных в буквенном виде. При этом, перед составлением самой математической модели, создают ее структуру, называемую расчетной схемой, которая представляет собой идеализированное графическое изображение в двумерной плоскости, на котором представлены наиболее значимые для исследователя факторы (рис.1).

$$\begin{cases} M_B = 0,5(0,5G_M - G_K)B \\ M_T = 0,25kG_M B \\ \sigma_{и} = \frac{M_B}{W_B} + \frac{M_T}{W_T} \end{cases} \quad (1)$$

Рассматривая систему уравнений (1), можно сказать, что представленная математическая модель одновременно является статической, детерминированной и непрерывной. Действительно, в представленных уравнениях системы (1) отсутствует зависимость от времени, поэтому она является статической.

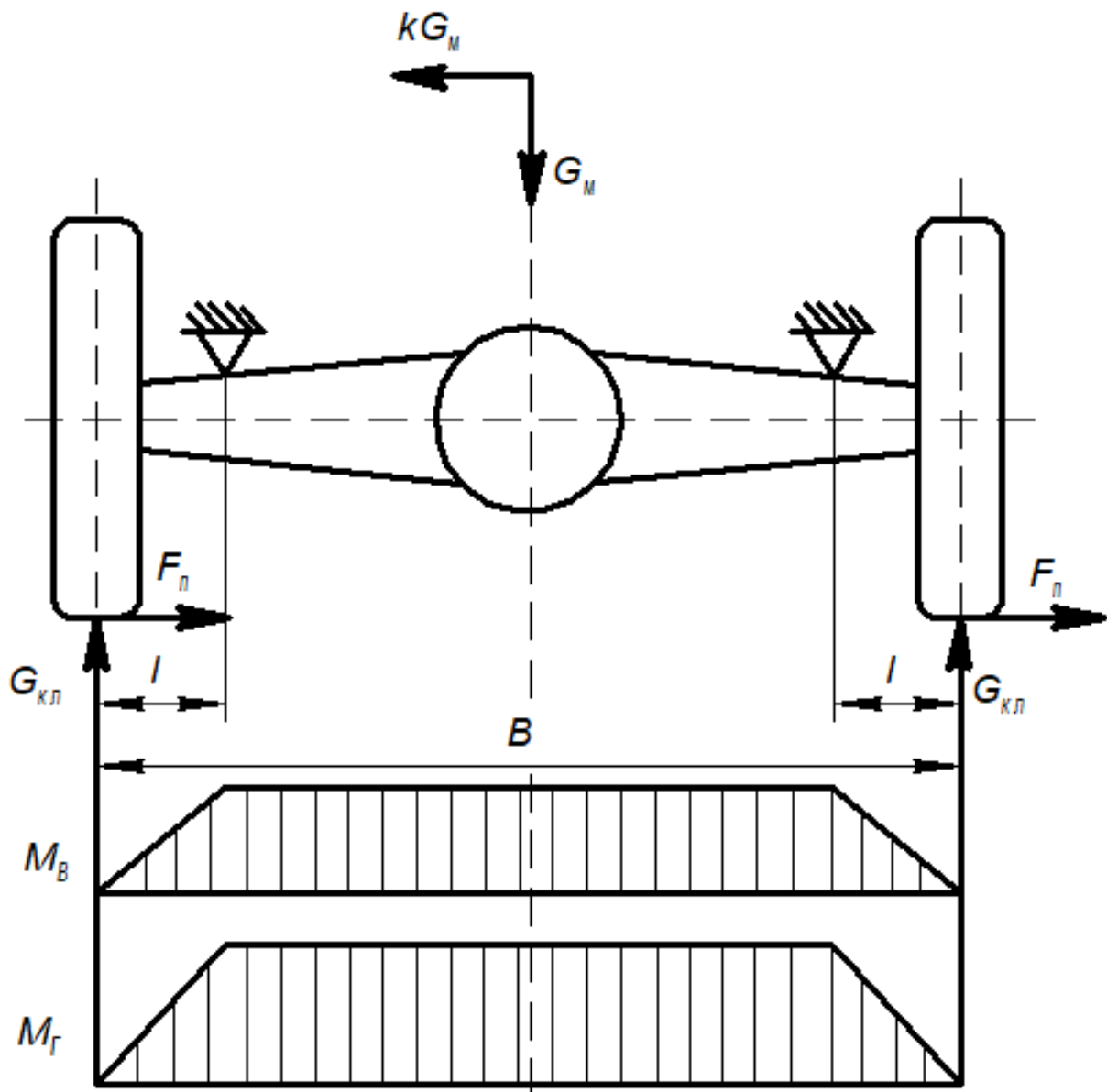


Рисунок 1. Расчетная схема статической аналитической модели на примере прочностного расчета балки переднего моста харвестера

Учитывая, что в поставленной задаче отсутствует случайное воздействие, и максимальное нормальное напряжение определяется, используя приведенные алгебраические уравнения, следовательно можно утверждать, что модель является детерминированной.

Также величина нормального напряжения σ_u непрерывно распределяется на протяжении всей длины балки B в диапазоне значений $0 \leq \sigma_u \leq \sigma_{max}$, т.е. модель является непрерывной.

Аналитические динамические модели в лесном машиностроении применяются в случаях, когда нужно определить величину добавочной динамической нагрузки, вызванной кратковременным изменением значений, действующих на исследуемый объект сил. Примером может служить модель определения динамических нагрузок на манипулятор трелевочного трактора в

режиме торможения стрелы, при соотношении высокой k и низкой n частот колебаний $<10:1$ [2].

В этом случае добавочная динамическая нагрузка на манипулятор будет:

$$Q_{\text{доб}} = e^{-\alpha t}(C_1 \cos kt + C_2 \sin kt) + e^{-\beta t}(C_3 \cos nt + C_4 \sin nt) \cdot c_{12}^{\text{МГ}}, \quad (2)$$

Таким образом, задавая время t , можно определить значения добавочной динамической нагрузки в процессе торможения стрелы.

При исследовании показателей надежности деталей, узлов или целых агрегатов лесных машин широкое применение нашло стохастическое математическое моделирование, особенно в таких процессах, как износ в парах трения, возникновение коррозии и других, которые зависят от множества факторов, влияние которых носит вероятностный характер.

В качестве примера можно привести некоторый элемент конструкции лесной машины, наработка до отказа которого описывается нормальным законом распределения, с известными для него математическим ожиданием m_t и среднеквадратичным отклонением σ_t .

Вероятность безотказной работы $P(t)$ и вероятность отказа $F(t)$ к моменту наработки t определяется через специальную функцию $F_0(x)$, названную интегралом вероятности и являющуюся табличным значением, причем $F_0(-x) = 1 - F_0(x)$ [3].

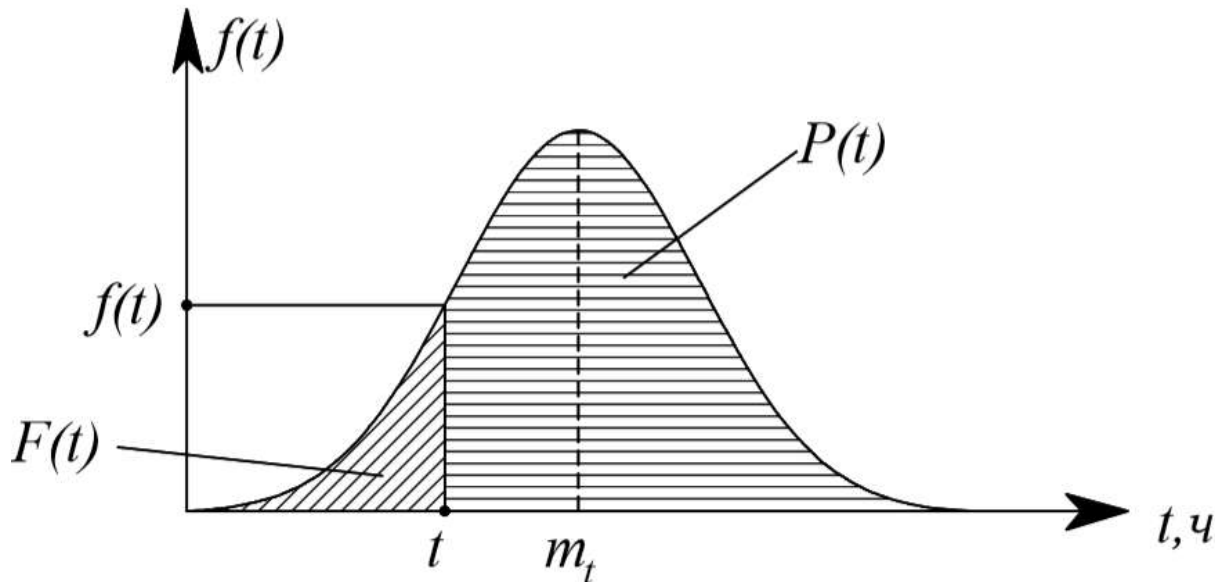


Рисунок 2. Плотность распределения ВБР

Заключение.

Математическое моделирование позволяет описать сложные процессы, происходящие с объектом исследования, в упрощенном, модельном виде, с сохранением тех свойств оригинала, которые необходимы исследователю для решения поставленных им задач.

Практически все объекты, системы и процессы можно описать при помощи математического моделирования, используя ту или иную комбинацию моделей.

Наибольшее распространение в лесном машиностроении получили аналитические детерминированные статические и динамические модели, а также стохастические математические модели.

Библиографический список

1. Максимова Н.Н. Математическое моделирование. Учебно-методическое пособие / сост. Н.Н. Максимова. – Благовещенск: Изд-во АмГУ, 2019. – 88 с.
2. Александров В.А., Александров А.В. Моделирование технологических процессов лесных машин: Учебник.-3-у изд., перераб. – СПб.: Издательство «Лань», 2016.-368.
3. Основы теории надежности: Практикум по дисциплине «Основы теории надежности» / сост.: О.А. Дулов, А.В. Абрамов. – Ульяновск: УлГТУ, 2015. – 62 с.

Сведения об авторах

ФИО Тарадин Григорий Сергеевич
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 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 1126-2121
e-mail igorzv1997@gmail.com

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

Аннотация

В статье рассмотрены наиболее распространенные виды математических моделей, применяемых в лесном машиностроении. Приведены и разобраны

примеры использования математических моделей в области проектирования деталей лесных машин.

Ключевые слова: лесное машиностроение, математическая модель, аналитическая модель, статические и динамические модели, стохастическая модель; forestry engineering, mathematical model, analytical model, static model, dynamic model, stochastic model.

УДК 630*30

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.01.77

Основные направления повышения показателей технического уровня тракторов и автомобилей

Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Рачков И.Д.

Введение

Показатели технического уровня определяют потенциальные свойства машины, а следовательно, влияют на экономическую, энергетическую, экологическую и социальную эффективности работы машины [5], [8], [10].

Показатели технического уровня трелевочных тракторов зависят от различных факторов, которые можно разделить на три основные группы: конструктивные, производственные и эксплуатационные [12]. Каждый из них может воздействовать на эти показатели и параметры или однозначно или противоположно; иначе говоря, при изменении фактора все показатели технического уровня улучшаются или ухудшаются, а в другой ситуации изменение фактора сопровождается улучшением одних показателей и ухудшением других. Например, неоднозначно сказывается увеличение энергонасыщенности трелевочного трактора; как переэнергонасыщенность машины ухудшает эксплуатационную эффективность работы трелевочного трактора [1], [4], [6], [9], [11].

Методы исследования

Рассмотрим возможность повышения технического уровня отдельных агрегатов механизмов и систем трелевочного трактора [2], [7].

Двигатель. К основным показателям технического уровня дизеля, в современном представлении, относят:

- литровая мощность;
- коэффициент приспособляемости (запас крутящего момента);
- удельный расход топлива.

Дизельный двигатель трелевочного трактора, отвечающий современному мировому уровню, имеют литровую мощность не менее 20 кВт/л. Столь высокую мощность можно получить только при турбонаддуве с промежуточным

охлаждением воздуха. Такое техническое решение одновременно позволяет значительно повышать коэффициент приспособляемости дизеля и снизить удельный расход топлива, за счет частичной утилизации энергии отработавших газов [3], [5].

Результаты исследования

Коэффициент приспособляемости есть отношение максимального крутящего момента к крутящему моменту при номинальной мощности [7]. У современных отечественных дизельных двигателей коэффициент приспособляемости $K \approx 1,15$. Ведущие дизелестроительные зарубежные фирмы серийно выпускают дизельные двигатели с $K=1,5 \dots 1,7$; которые имеют на внешней скоростной характеристике мощность на всех скоростных режимах постоянную. Такие дизельные двигатели называют двигателями постоянной мощности (ДПМ). Перспективные дизели имеют $K \approx 2,0$. При таких высоких значениях K с понижением частоты вращения коленчатого вала мощность возрастает, следовательно строго говоря он уже не ДПМ [5].

Экспериментальные исследования трактора с дизелем, имеющим $K=1,39$, показали повышение эксплуатационной эффективности работы трактора [11].

Вторым показателем технического уровня современных дизелей считается удельный расход топлива, имеющий размерность г/кВт·ч. Это единственный показатель оценки топливной экономичности тепловых двигателей в целом [3]. Отечественные автотракторные двигатели имеют удельный расход топлива $g_e=218 \dots 225$ г/кВт·ч; это на 8...10% выше удельного расхода двигателей, применяемых на трелевочных тракторах за рубежом [4]. В мировом двигателестроении ведутся интенсивные работы по созданию адиабатных двигателей, иногда называемых керамическими, в которых металлокерамика на основе бора напыляется на поверхность камеры сгорания и др. элементы [6]. Адиабатные дизеля имеют 155...165 г/кВт·ч. В настоящее время выпускаются дизельные двигатели «переходного периода» – двигатели с утепленной камерой сгорания, удельный расход топлива которых составляет 175...180 г/кВт·ч. Такая же тенденция наблюдается в снижении расхода моторного масла на угар и увеличение периодичности его смены [9].

Трансмиссия. В мировом тракторостроении просматриваются две тенденции развития тракторных трансмиссий.

Механические трансмиссии, имеющие плотный ряд передач (24 и более), переключаемые под нагрузкой или с помощью синхронизирующих устройств [2], наличием реверсивных КП и постов управления. Здесь следует отметить глубокий анахронизм в применяемой для поворота гусеничных тракторов бортовых фрикционов, которые имеют релейный характер работы и в процессе

поворота КПД фрикциона падает до 0,65. Такое техническое решение просто компрометирует машину в целом [12].

Второе направление – применение гидropередач в трансмиссии. Гидродинамические передачи, по нашему мнению, совершенно не пригодны для трансмиссий гусеничных тракторов [8], так как они не исключают наличия механизмов поворота, тем самым не повышают, а даже снижают КПД трансмиссии. Гидротрансформаторы эффективно работают в трансмиссиях колесных трелевочных тракторов [10].

Ходовая система. Ходовая система колесных лесопромышленных тракторов доведена до высокой степени совершенства и дальнейшее совершенствование сводится к повышению их долговечности, снижению коэффициента сопротивления качению, выравниванию и снижению среднего давления на опорную поверхность [5].

Гусеничный движитель имеет целый ряд достоинств по сравнению с колесным прежде всего высокую проходимость, меньше потери от буксования [3], а следовательно, энергозатраты на процесс трелевки и др. Однако если с шумом за несколько десятилетий происходили революционные преобразования в конструкции, применяемых материалов, технологии производства, то за последние сто с лишним лет гусеница, применяемая на отечественных тракторах [7], практически не изменилась. Легкая эластичная гусеница позволяет трелевать древесину со скоростью до 20 км/ч. Финская фирма «Normet» экспонировала еще на выставке «Лесдревмаш-84» сортиментовоз «Farmi-Trane» на ленточных гусеницах из полиамидных материалов с рекордно малым давлением движителя на почву – 0,005 МПа. Несмотря на высокую стоимость полиамидных гусениц, они обеспечивают высокую экономическую, экологическую и социальную эффективность работы трелевочных тракторов и технологического процесса [2]. Тракторы сельскохозяйственного назначения фирмы Caterpillar имеют новые гусеничные ленты.

Энергонасыщенность. В исследовании тракторов различного назначения отношение номинальной мощности двигателя к эксплуатационной массе трактора принято считать его энергонасыщенностью. Главное, необходимо оптимизировать рейсовую нагрузку для конкретного сочетания энергонасыщенности и свойств волокна [1].

Коэффициент полезной нагрузки принято оценивать как отношение веса (массы) пачки древесины к весу трактора [5]. Этот показатель характеризует в целом технический уровень конструкции [7]. Лучшие лесопромышленные тракторы мира прежде всего сортиментовозы на колесной базе, могут трелевать пачку древесины весом почти равным весу трактора, то есть коэффициент

полезной нагрузки приближается к единице ($\eta_Q=0,95\dots 1,0$). Это очень высокий показатель.

Эргономика и эстетика. Это очень емкие понятия, включающие многие показатели и факторы, влияющие на эффективность работы трактора, состояние и здоровье оператора. В теории трактора и автомобиля посвящены целые разделы и направления [10].

Надежность. В течении многих десятилетий отмечается низкая надежность отечественных тракторов, в том числе и трелевочных; прежде всего это относится к двум показателям надежности: моторесурс (долговечность) и время отказов в работе (безотказность). Это объясняется, по нашему мнению, следующим [8].

Заключение. Для создания лесопромышленных отечественных тракторов, как и всех транспортных машин, необходима глубокая кооперации ведущих предприятий различной направленности. Только таким путем можно поддерживать технический уровень машины ее конкурентоспособность.

Библиографический список

1. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Рачков И.Д. Основные направления синтеза оптимальных трелевочных систем // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 651-656.
2. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе // 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., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В. Основные показатели технического уровня лесных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 662-667
4. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С. Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 639-646.
5. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А. Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 712-718.
6. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Торощин П.С. Стендовые испытания тормозной системы автомобиля с пневматическим приводом // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 678-684.
7. 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.
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., Кривоногова А.С., Назаров М. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения // 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. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Мубаракшина Т.М. Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 153-158
11. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Торошин П.С. Создание математических моделей колесных лесопромышленных тракторов с учетом системного подхода // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 158-165.
12. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Торошин П.С., Давыденко С.В. К оценке мощностного баланса трелевочного трактора с учетом его параметров // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Том 2 / Под ред. А.А. Добровольского. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 103-105.

Сведения об авторах

ФИО Пушков Юрий Леонидович
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 Александра Станиславовна
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 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 рассмотрены особенности развития машиностроения с учетом показателей технического уровня тракторов и автомобилей.

Ключевые слова: двигатель, ходовая часть, энергонасыщенность, коэффициент полезной нагрузки, эргономика и эстетика, надежность, показателем технического уровня.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15, 66.17.99

К вопросу управления проактивной системой технического обслуживания в современных условиях

Мартынов Б.Г., Тарабан М.В., Мозиков М.Д.

Введение

Разработка любой системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) строится на определении таких важных характеристик, как вид и периодичность ТО и Р. Они, в свою очередь, базируются на стратегии, выбранной предприятием, обслуживающим технику.

В статье [1] приведен анализ перспективных стратегий профилактики лесной техники. Как следует из анализа [1] наиболее современной и перспективной является проактивная система построения системы ТО и Р.

Основным и самым сложным элементом проактивной системы является управление такой технической системой. В зависимости от системы управления выбираются виды и продолжительности технического обслуживания и ремонта, которые могут изменяться в процессе работы.

Цель работы.

Основная цель управления системой ТО и Р состоит в том, чтобы создать систему для сбора информации, оценить эту информацию и на ее основе принять решения, позволяющие оптимизировать работу системы ТО и Р.

Результаты исследования

Наша система ТО и Р относится к сложной организационно-технической системе (СОТС). Описание такой системы, ее признаки описаны в статье [2].

В общем виде для управления такой системой как система ТО и Р необходимо определить векторы состояния системы и вектор ошибок управления.

Вектор состояния системы реально описывает поведение системы ТО и Р по контрольным параметрам. Вектор состояния системы состоит из вектора управляемых параметров и вектора свободных параметров [3]. Вектор управляемых параметров состоит из параметров, которые управляются внутри

системы органами управления и которые изменяют контролируемые параметры. Вектор свободных параметров состоит из параметров, которые тоже изменяются, но не входят в состав контролируемых параметров [3].

Вектор ошибок управления – это вектор, представляющий собой отклонение реального процесса от вектора контрольных параметров управления [3].

В качестве контролируемых параметров вектора состояния системы ТО и Р выступают параметры технического состояния машин, которые входят в эту систему. В работе [4] рассмотрена задача управления техническим состоянием машины с целью обоснования проактивной системы ТО и Р. На примере трактора «Кировец» определены наиболее слабые агрегаты и параметры их контролируемые. В результате показано как может меняться система ТО и Р, в зависимости от значений параметров технического состояния агрегатов и трактора в целом (Рис. 1)

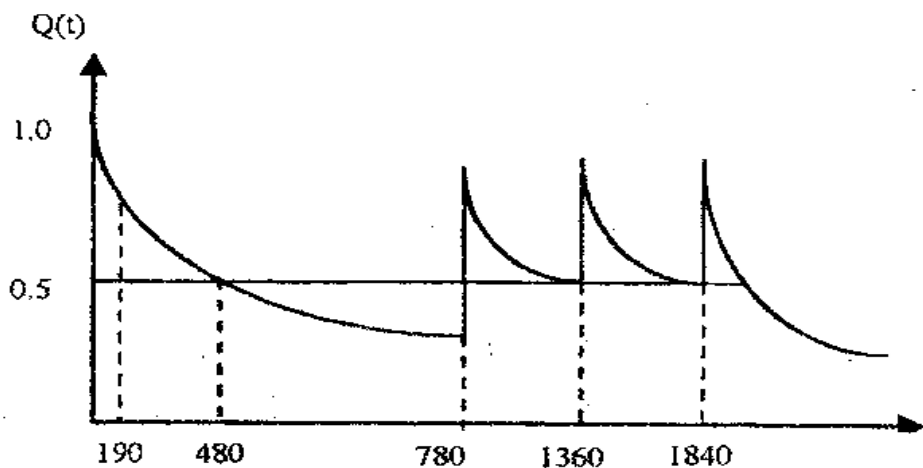


Рисунок 1. Изменение продолжительности времени обслуживания трактора «Кировец» при управлении проактивной системой ТО и Р

Большое влияние на работу системы ТО и Р будет оказывать вектор ошибок управления. Ошибки в результате диагностирования машины в условиях эксплуатации могут губительно сказаться на определении вида и продолжительности ТО и Р. Могут резко повыситься издержки на обслуживание техники, ее содержание и эксплуатацию либо из-за необоснованного ремонта агрегатов, либо из-за их раненого непредусмотренного выхода из строя. Поэтому важное значение имеет определение и обоснование допустимых и предельных значений параметров состояния.

Как известно, допустимое значение – это значение, при котором составную часть машины допускают к эксплуатации без операций технического обслуживания. Причем эта составная часть должна доработать до следующего технического обслуживания. А предельное значение параметра характеризуется

максимальным или минимальным значением, которое может иметь исправный агрегат.

Поэтому наиболее важная составляющая при определении допусков на контролируемые параметры является допустимое значение параметра.

Для определения допусков на контролируемые параметры применяется теория вероятности и математическая статистика.

Проведенными исследованиями [5] установлено, что изменение параметров функционирования машины связано с изменением случайных процессов. Эти случайные процессы изменения ординат подчиняются нормальному закону распределения. Для решения задачи нахождения допуска необходимо определить длительность такого процесса δ_t и среднее число выбросов n_Δ за допустимый уровень, устанавливаемый техническими требованиями.

Применительно к процессам работы лесных машин статистическая оценка относительной длительности превышения заданного уровня (допуска Δ_y) ординатами случайной функции δ_t может определяться по уравнению:

$$\delta_t = \int_0^{\infty} f(y) dy \quad (1)$$

Для нормального случайного процесса плотность распределения ординат равна:

$$f_y = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(y-m_y)^2}{2\sigma_y^2}} \quad (2)$$

Допуск на диагностический показатель равен:

$$\Delta\Pi = |\sigma_n|_D^{P-P_D} - |\sigma_n|_D^{P=0.997} \quad (3)$$

где P_D – допустимая вероятность сохранения допуска; σ_n – допустимое среднее квадратичное отклонение диагностического параметра (ДП) при заданном допуске по техническим требованиям и вероятности его сохранения P_D .

Следовательно, допуск на диагностируемый параметр (показатель) $\Delta\Pi$ определяется с учетом того, что вероятность P_D сохранения допуска по техническим требованиям будет охватывать $\pm 3\sigma_\Delta$ средних квадратических отклонений случайных величин от их среднего значения, т.е. 99,73% всех возможных случаев изменения ординат случайного центрированного процесса диагностируемого показателя.

Допустимое среднее квадратическое отклонение ДП $|\sigma_n|_D$ определяют из соотношения:

$$P_D = 2\Phi(\Delta_y/\sigma_n) \quad (4)$$

Сначала задавшись вероятностью P_D сохранения допуска Δ_y по таблицам функций Лапласа находят значение аргумента $|\Delta_y/\sigma_n| = Z_D$, а затем $|\sigma_n| = \Delta_y/Z_D$.

Библиографический список

1. Н.В. Сидоренков, Б.Г. Мартынов. Анализ стратегий организации систем ТО И Р. - Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2019г. Отв. редактор В.А. Соколова. 2020. С. 27-30.
2. Кудж С.А. Администрирование информационных систем. Учебное пособие по курсу. – М.: УПП «Репрография», МИИГАиК, 2009 – 72 с.
3. Соловьев И.В. Общие принципы управления сложной организационно-технической системой. Перспективы науки и образования, 2014, №2(8). – с. 21-27.
4. Сидоренков, Н.В., Мартынов, Б.Г., Тарабан, М.В. Обоснование проактивной стратегии профилактики гидроманипуляторов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 224, СПбГЛТА, 2018, с. 247-255. DOI: 10.21266/2079-4304.2018.224.247-255
5. Мартынов Б.Г. Обоснование эффективной эксплуатации индивидуальных машин по результатам их технического состояния. – автореф. дисс. докт.техн.наук. - СПб, 2005 – 39 с.

Сведения об авторах

ФИО Мартынов Борис Григорьевич
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 Тарабан Мария Всеволодовна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7023-1741
e-mail arcan65@mail.ru

ФИО Мозиков М.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 lesbisnes@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены методы управления системами технического обслуживания и ремонта, создания системы сбора информации и на основе анализа этой информации методы принятия решений для оптимального управления системой ТО и Р.

Ключевые слова: управление, оптимизация, техническое обслуживание, ремонты.

УДК 51-74

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 68.85.83

Методика определения оптимального передаточного ряда трансмиссии колесных лесосечных машин

Михайлов О.А., Тарадин Г.С.

Введение

Одним из основных способов заготовки древесины, наряду с сортиментной, является заготовка в хлыстах, сохраняющая уверенные позиции, как в России, так и во всем мире. Комплекс лесосечных машин, осуществляющих хлыстовую заготовку, может включать в себя: валочно-пакетирующую машину, трелевочный трактор с пачковым захватом и сучкорезную машину.

С каждым годом на мировой рынок выпускаются новые, а также модернизируются выпускавшиеся ранее модели лесосечных машин для хлыстовой заготовки. Среди ведущих фирм изготовителей данной техники можно отметить такие компании как: John Deere, Tigercat, Caterpillar, Komatsu. На сегодняшний день, как за рубежом, так и в нашей стране накоплен колоссальный опыт в области конструирования и эксплуатации лесосечных машин, работающих по хлыстовой технологии заготовки древесины.

Отдельного внимания в этом комплексе машин заслуживают скиддеры – лесопромышленные тракторы, предназначенные для сбора, последующей трелевки и разгрузки на площадке верхнего склада пачек деревьев, подготовленных валочно-пакетирующей машиной. Наибольшего распространения получили бесчokerные скиддеры с колесной формулой 4К4 и шарнирно-сочлененной рамой, использующие в качестве технологического оборудования манипуляторы арочного типа с гидравлическим приводом, а в качестве рабочего органа – клещевой захват, способный надежно удерживать в процессе трелевки пачки деревьев объемом порядка 4...7 м³. По такой компоновке выполнены многие скиддеры зарубежного производства, такие как: Cat 525D, Tigercat 630H, John Deere 640L и др.

Достойным конкурентом зарубежным колесным скиддерам можно назвать отечественный скиддер ТЛК-1 Онежского тракторного завода с гидромеханической трансмиссией и колесной формулой 4К4. Механическая часть трансмиссии выполнена по схеме заблокированного (жестко связанного) привода ведущих мостов и, кроме того, с муфтами свободного хода в ведущих мостах, которые выполняют функцию межколесных дифференциалов.

Учитывая тяжелые условия эксплуатации скиддеров, во многом зависящие от почвогрунтовых характеристик трелевочных волоков необходим грамотный подход к проектированию трансмиссий скиддеров. Одним из важнейших этапов конструкторской разработки трелевочных систем является выбор передаточного ряда трансмиссии. Данное исследование направлено на решение этой проблемы, являющейся безусловно актуальной.

Цель работы

На основании экспериментальных исследований нагруженности трансмиссии трелевочного трактора ТЛК-1, разработать математическую модель, позволяющую на этапе конструкторской разработки колесного скиддера, оценить правильность выбора передаточного ряда гидромеханической трансмиссии.

Методы исследования

При выборе схемы математической модели, позволяющей прогнозировать передаточное число трансмиссии, использовались результаты экспериментальных исследований нагруженности трансмиссии колесного скиддера ТЛК-1 при трелевке пачки деревьев объемом 7 м³ на I, II и III передачах. Испытания проходили на полигоне-волоке ОТЗ, длиной 1500 м и разбитым на 15 равных пикетов. В плане полигон напоминает цифру «8».

Для проведения экспериментальных исследований был разработан комплекс измерительной аппаратуры, позволяющий регистрировать крутящий момент в пяти точках трансмиссии, а именно на полуосях и карданном валу. Помимо крутящих моментов в трансмиссии регистрировались и измерялись углы поворота полуосей и карданной передачи, частота вращения коленчатого вала и время протекания процессов. Стоит также отметить высокую точность проведенных измерений, простоту электрической схемы измерительной аппаратуры, малую стоимость приборов, их высокую надежность и безотказность.

Результаты исследования

Суммарный коэффициент сопротивления движению трелевочной системы ψ определяется формулой [1, 2]:

$$\psi = \frac{M_{ен} \cdot K_з \cdot K \cdot i_{тр} \cdot \eta_{тр}}{(G + Q) \cdot r_д}, \quad (1)$$

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; $r_д$ – 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, 3]:

$$\psi = f_c + i + f_{\text{пв}}, \quad (2)$$

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) [4]. С этой целью используем распределение $1/i$ и связь между случайными величинами K и $1/i$.

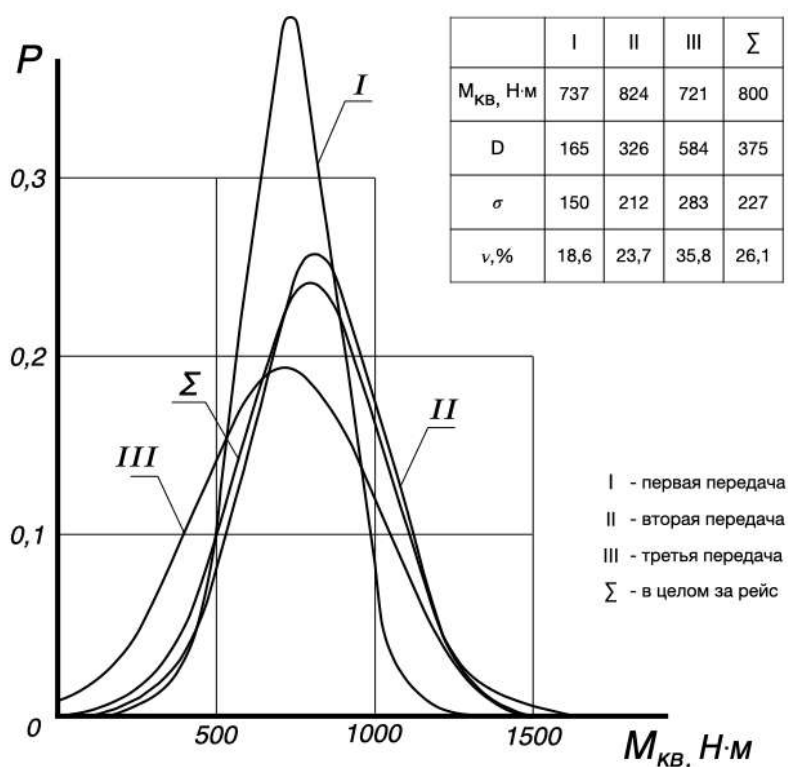


Рисунок 1. Кривые распределения крутящего момента на валу турбины по передачам (I, II, III) и в целом за рейс (Σ)

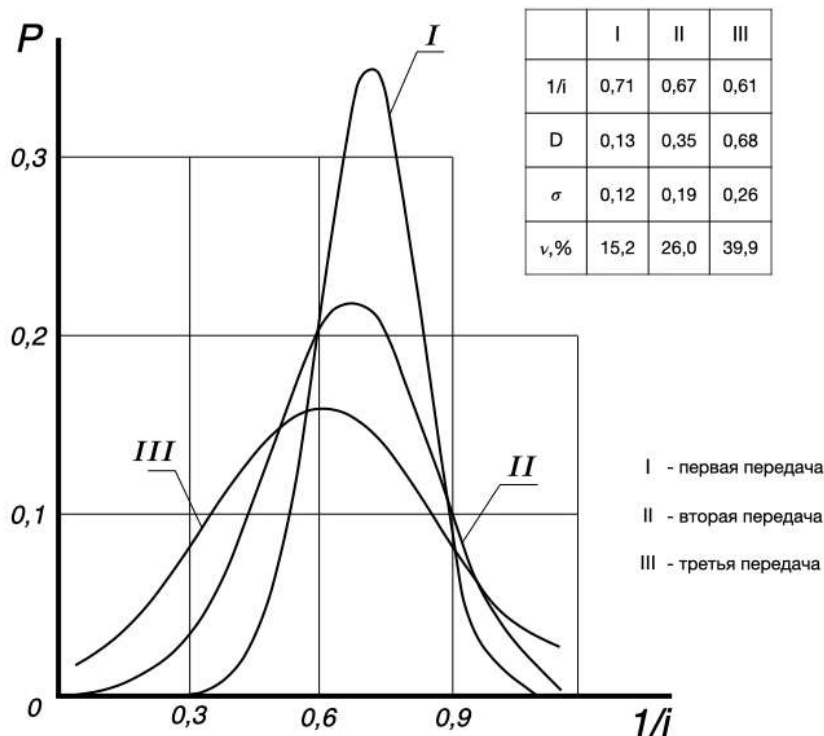


Рисунок 2. Кривые распределения кинематического передаточного отношения $1/i$ гидротрансформатора по передачам (I, II, III)

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

$$\varphi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp \left(-\frac{x^2}{2} \right).$$

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 $X = 1/i$.

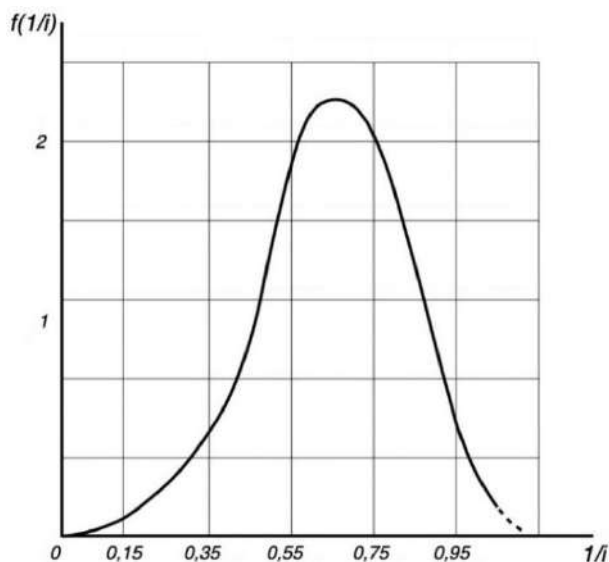


Рисунок 3. Обобщенная кривая распределения $1/i$

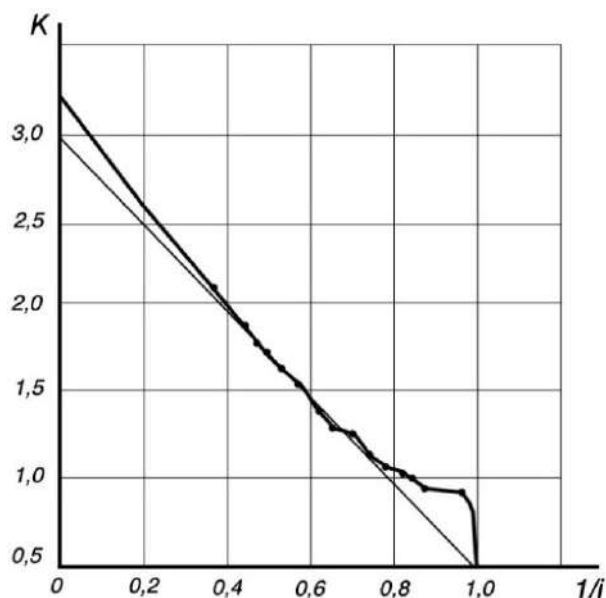


Рисунок 4. График зависимости между $1/i$ и K , полученные экспериментально и обработанные по методу наименьших квадратов

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.:

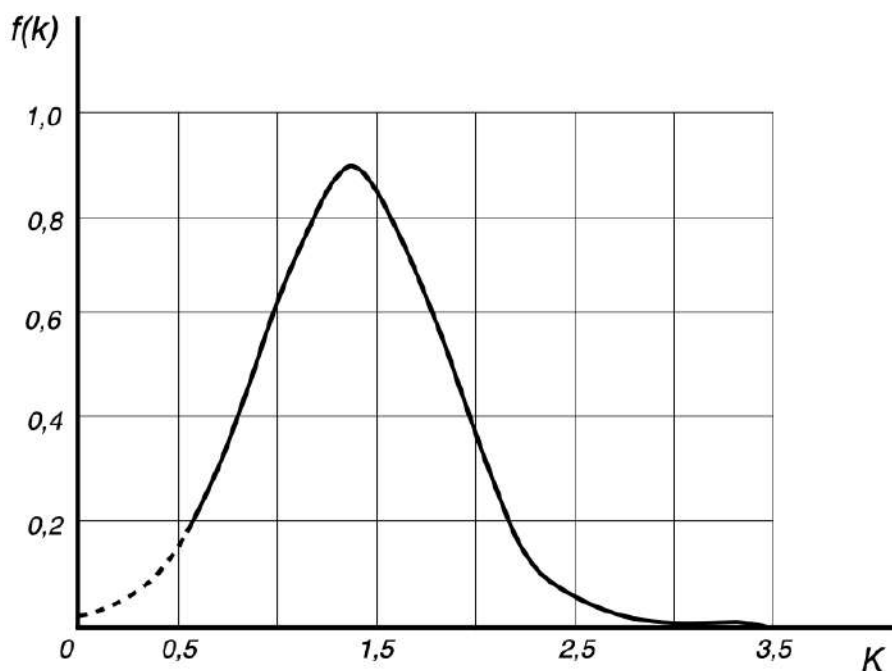


Рисунок 5. График плотности распределения вероятностей K

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 $f(i_{тр})$ должна задаваться формулой:

$$f(i^M) = \frac{1}{c} f_3\left(\frac{i^M}{c}\right) \quad (12)$$

и, согласно (10) имеем:

$$f(i_{тр}) = \frac{1}{c} \int_0^{\infty} t f_1(t) f_2\left(\frac{i_{тр}}{c} t\right) dt \quad (13)$$

Формулы (3), (8) и (13) позволяют теоретически найти плотность распределения $f(i_{тр})$ случайной величины $i_{тр}$.

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. Анисимов Г.М., Перельман А.Я., Михайлов О.А. Метод получения обобщенного закона распределения свойств трелевочного волокна. Межвузовский сборник научных трудов. Повышение эксплуатационной эффективности машин для лесозаготовок и лесного хозяйства, Л.: 1986.-с.11-14
2. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля: дис. ... канд. техн. наук, Л.: ЛТА, 1986. – 198 с.
3. Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Спиридонов С.В., Козьмин С.Ф., Пушков Ю.Л. Методика определения оптимального передаточного ряда гидромеханической трансмиссии. Актуальные

вопросы транспорта в лесном комплексе. Материалы Всероссийской Научно-практической конференции. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – с. 42-47.

4. Абрамовиц М., Стиган И. Справочник по специальным функциям.-М.: «Наука», 1979.-832с.

Сведения об авторах

ФИО Михайлов Олег Андреевич
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 Григорий Сергеевич
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

Полученные в ходе испытаний трактора ТЛК-1 данные, были обработаны с помощью методов стохастического математического моделирования. В результате была получена математическая модель прогнозирования использования передаточного числа трансмиссии колесного трелевочного трактора, оснащенного гидродинамической передачей. Данная 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

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.21

Обзор и анализ типовой кинематической схемы трансмиссии колесных узкозахватных валочно-пакетирующих машин фронтального типа

Андронов А.В., Зверев И.А., Тихомиров О.С.

Введение

Одним из серийно выпускающихся типов лесосечных машин для хлыстовой заготовки древесины являются колесные узкозахватные валочно-пакетирующие

машины (ВПМ) фронтального типа. Как и любые другие машины, эксплуатирующиеся в сложных природно-производственных условиях, которые характерны при лесозаготовке, колесные ВПМ должны обладать высокой проходимостью. Кроме того, учитывая специфику технологических операций (спиливание дерева с последующим переездом вместе с ним к месту формирования пачки), выполняемых этим типом машин, они должны также обладать высоким тяговым усилием. На величину обозначенных параметров существенное влияние оказывает трансмиссия машины, в частности, общее передаточное отношение и крутящий момент на колесе. Таким образом, до определения конструктивных параметров трансмиссии, проектирования и расчета ее элементов нужно составить типовую кинематическую схему.

Цель работы – составить типовую кинематическую схему трансмиссии колесных узкозахватных ВПМ фронтального типа. Описать принцип работы трансмиссии и ее основных узлов и агрегатов.

Методы исследования.

Типовая кинематическая схема трансмиссии колесных ВПМ была составлена в результате анализа технической документации колесных ВПМ [1], [2].

Результаты исследования.

Трансмиссия колесных ВПМ, как и у большинства лесозаготовительных машин, является гидростатической [2]. Основными узлами и агрегатами трансмиссии ВПМ с колесной формулой 4К4 являются: гидромотор, гидронасос, двухступенчатая раздаточная коробка, приводные карданные валы переднего и заднего мостов, главные передачи и дифференциалы передней и задней оси, дисковая тормозная система, ступицы колес с планетарными редукторами и колесный движитель.

На рисунке представлена типовая кинематическая схема трансмиссии ВПМ с колесной формулой 4К4.

В качестве силовой установки в конструкции колесных ВПМ, как правило, используется шестицилиндровый дизельный ДВС с турбонаддувом и промежуточным охлаждением. Максимальная мощность ДВС находится в диапазоне от 104 до 245 кВт [4], [5], [6].

Маховик двигателя приводит в работу аксиально-поршневой гидронасос, подающий рабочую гидравлическую жидкость в блок цилиндров аксиально-поршневого гидромотора, что приводит во вращение выходной вал гидромотора.

Крутящий момент от вала гидромотора передается на входной вал двухступенчатой раздаточной коробки, предназначенной для распределения крутящего момента между мостами машины, а также изменения его величины. Повышенная передача предназначена для передвижения валочно-пакетирующей

машины при технологических переездах на грунтах с высокой несущей способностью, а также при движении по дорогам общего пользования. Пониженная передача предназначена для движения валочно-пакетирующей машины по лесосеке. Переключение передач осуществляется посредством зубчатой муфты, перемещение которой происходит с помощью гидравлически управляемой вилки.

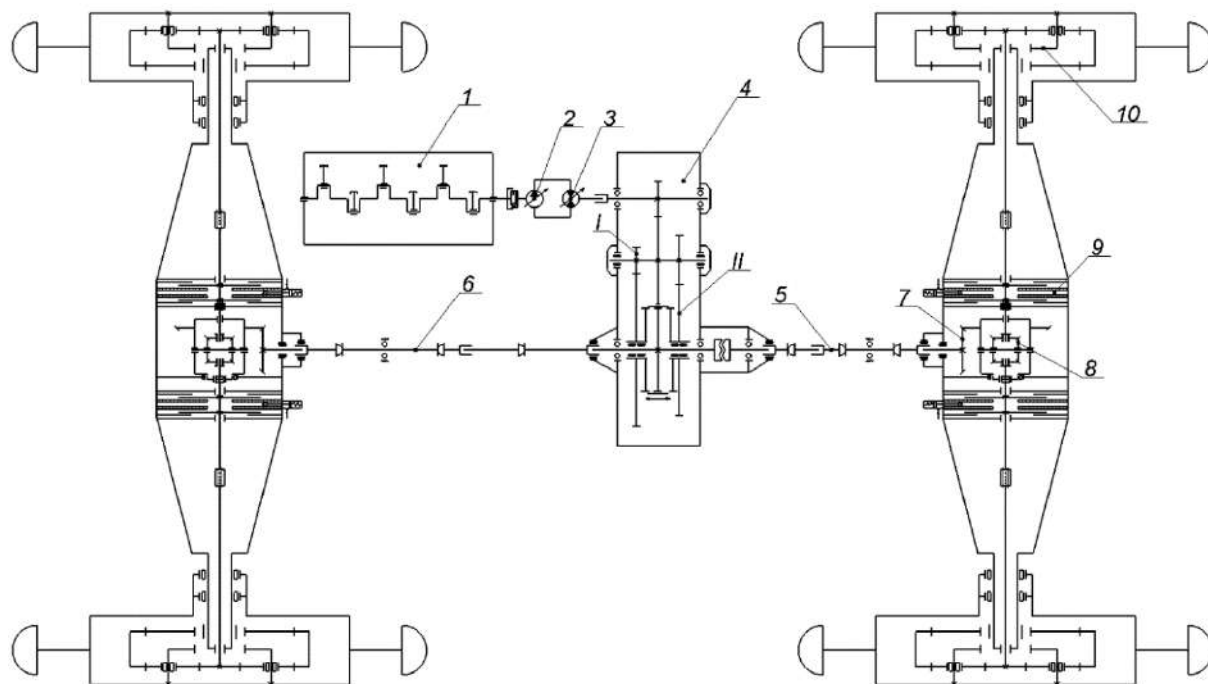


Рисунок. Типовая кинематическая схема трансмиссии колесных ВПМ:

1 – ДВС; 2 – гидронасос; 3 – гидромотор; 4 – раздаточная коробка; 5 – приводной карданный вал переднего моста; 6 – приводной карданный вал заднего моста; 7 – главная передача; 8 – дифференциал; 9 – дисковая тормозная система; 10 – планетарный редуктор ступицы колеса; I – повышающая передача; II – понижающая передача

От выходного вала раздаточной коробки крутящий момент передается на карданные валы привода переднего и заднего моста. Приводные валы являются двойными, т.е. имеют по две крестовины, соединенных между собой еще одним промежуточным валом. Такая конструкция приводных валов обусловлена наличием шарнирного соединения между полурамами машины.

Дальнейшая передача крутящего момента от приводных валов осуществляется через главные передачи переднего и заднего мостов на полуоси колес, и затем, через колесные планетарные редукторы – на колеса машины.

Торможение валочно-пакетирующей машины происходит за счет трения между тормозными дисками, закрепленными на полуосях посредством шлицевого соединения, и вмонтированных в корпус балки мостов листовых прокладок. Тормозные диски прижимаются к листовым прокладкам с помощью тормозных механизмов с гидравлическим приводом.

Для перераспределения крутящего момента между колесами валочно-пакетирующей машины в конструкции каждого из мостов предусмотрен дифференциал.

Заключение. Представленная в работе типовая кинематическая схема трансмиссии колесных узкозахватных валочно-пакетирующих машин фронтального типа, может быть использована при дальнейшем проектировании и расчете деталей, узлов и агрегатов трансмиссий колесных ВМП.

Библиографический список

1. Tigercat 720G, 724G, 726G FELLER BUNCHER Service and Operation Manual p.222.
2. John Deere 643J, 843J (SN.770001-) Wheeled Feller Buncher/Harvester Diagnostic Service Manual (TM2216) p.246.
3. Андронов А.В. Многооперационные лесные машины: учебное пособие для студентов направлений подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / А.В. Андронов [и др.]. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 130 с.
4. Deere & Company 2019 Wheel Feller Bunchers/Harvesters John Deere 643J/843J-Series Brochure p. 16.
5. Tigercat Inc. 2020 720G/ 724G/ 726G Rive-To-Tree Feller Bunchers Brochure p. 8.
6. Deere & Company 2019 L-II Series Wheeled Feller Bunchers/ Disk-saw felling heads FD45/ FD55 / FD22B John Deere 643L-II/ 843L-II -Series Brochure p. 18.

Сведения об авторах

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	8345-3722
e-mail	andronovalexandr@gmail.com
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	1126-2121
e-mail	igorzv1997@gmail.com
ФИО	Тихомиров О.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	ovell602@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрена типовая кинематическая схема трансмиссии колесных узкозахватных валочно-пакетирующих машин фронтального типа. Описан принцип работы трансмиссии колесной ВПМ, а также изложено назначение ее основных узлов и агрегатов.

Ключевые слова: колесная валочно-пакетирующая машина, кинематическая схема, трансмиссия, крутящий момент; wheel feller buncher machine, kinematic scheme, transmission, torque.

УДК 630*36

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.17

Математическая модель долговечности рабочих органов лесохозяйственных машин

Кретинин В.И., Теппоев А.В., Соловьева А.Д.

Введение

Исходя из современных представлений о видах изнашивания, рабочие органы почвообрабатывающих машин подвергаются следующим видам изнашивания : абразивному – в результате режущего или царапающего действия твердых тел или частиц; усталостному – в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя при трении скольжения или качения; окислительному – в результате химической реакции материала с кислородом или окисляющей окружающей средой и микропластической деформации поверхностного слоя.

Интенсивность износа зависит от режимов изнашивания, изнашивающей способности почвы и свойств изнашиваемой поверхности. При этом обычно полагают, что изнашивающая способность почвы изменяется прямо пропорционально изменению давления абразива, а относительная износостойкость материала остается величиной постоянной.

Фактически, как показывают экспериментальные данные, с повышением давления относительная изнашивающая способность абразива повышается в более быстром темпе, чем растет давление. Относительная износостойкость материала также повышается.

Это обстоятельство можно объяснить тем, что при малых давлениях острота зерен абразива при микрорезании как относительно мягких, так и относительно твердых материалов, теряется достаточно медленно, поэтому износ обусловлен в основном усталостным разрушением материала. Относительная износостойкость материалов мало отличается друг от друга.

При значительных давлениях острота зерен при микрорезании трудноизнашиваемых материалов теряется значительно быстрее, чем при микрорезании легкоизнашиваемых, поэтому, хотя в целом при увеличении давления интенсивность изнашивания как тех, так и других материалов повышается, однако темп ее повышения при износе трудноизнашиваемых материалов значительно меньше, чем у легкоизнашиваемых, поэтому относительная износостойкость трудноизнашиваемых материалов повышается.

Цель работы – прогнозирование динамики износа и долговечности рабочих органов лесохозяйственных при их упрочнении.

Методы исследования.

Введем понятие эталонного изнашивания образца материала эталонным абразивом в эталонных условиях.

В качестве эталонного абразива приняты частицы кварца размером 0,16...0,32 мкм, относительной влажностью 1%, относительная изнашивающая способность которого $m_{\text{эт}} = 1$. В качестве эталонного материала принят образец из стали Ст.3 твердостью (НВ 130), относительная износостойкость которого $\varepsilon_{\text{эт}} = 1$. За эталонные условия изнашивания приняты следующие:

- давление абразива на изнашиваемую поверхность $q = 0,1$ МПа;
- скорость перемещения абразивных частиц относительно образца $V_{\text{отн.эт.}} = 1$ км/ч;
- поверхность трения образца, соотносимая с толщиной лезвия $h_{\text{л}} = 1$ см;
- путь трения, $L = 1$ км.

Так как износ пропорционален изнашивающей способности абразива $d_{\text{к}}$ (почвы), давлению, пути трения, площади трения и обратно пропорционален относительной износостойкости образца (материала), в нашем случае, это ширина лезвия, то износ для однородного лезвия по ширине определяется:

$$U_{\text{л}} = \frac{d_{\text{к}} * q * m_{\text{эт}} * V_{\text{отн.эт.}} * L}{h_{\text{л}} * \varepsilon_{\text{эт}}} \quad (1)$$

где $U_{\text{л}}$ – износ лезвия по ширине; L – путь трения; q – среднее удельное давление почвы; $h_{\text{л}}$ – толщина лезвия; $d_{\text{к}}$ – коэффициент пропорциональности, зависящий от механического и минералогического состава почвы и износостойкости материала.

Как видно из выражения (1), величина износа зависит от толщины лезвия. У биметаллических почворежущих деталей величина износа зависит, при одинаковых условиях эксплуатации, от соотношения толщины армирующего (упрочняющего) $h_{\text{а}}$ и несущего $h_{\text{н}}$ слоев, а также от их износостойкости.

Коэффициент пропорциональности определяется из отношения износа, полученного при эталонных условиях, к эталонным параметрам и представляет собой интенсивность изнашивания эталонного образца в эталонных условиях.

Результаты исследования.

При испытании эталонного образца из стали Ст.3 на лабораторной установке «Вращающаяся чаша» (ВЧ) ВИСХОМа в эталонных условиях установлено, что износ образца по ширине лезвия в течение одного часа составил:

$$I_{\text{эт}} = 0,5 \text{ мм}, \text{ а } d_{\text{к}} = 0,24 \text{ мм/МПа} \cdot \text{км} \cdot \text{см}^2.$$

Так как закономерность изменения изнашивающей способности абразива (почвы) и относительной износостойкости материала от давления различны, введем в формулу 1 эталонного износа поправочные коэффициенты η_1 и η_2 , учитывающие соответственно изменение изнашивающей способности почвы и относительной износостойкости материала в зависимости от давления q . Тогда износ другого материала в общем случае при других условиях изнашивания будет равен:

в линейном измерении:

$$\Delta U_{\text{л}} = \frac{d_{\text{к}} q m_{\text{эт}} \eta_1 V_{\text{отн.эт}} L}{h_{\text{л}} \varepsilon \eta_2} \quad (2)$$

где $\Delta U_{\text{л}}$ – линейный износ по ширине лезвия; η_1 – коэффициент, учитывающий изменение изнашивающей способности почвы в зависимости от давления абразива; η_2 – коэффициент, учитывающий изменение относительной износостойкости материала в зависимости от давления абразива.

Интенсивность износа определяется по формуле:

$$\frac{\Delta U_{\text{л}}}{L} = \frac{d_{\text{к}} g \eta_1 m_{\text{эт}} V_{\text{отн.эт}}}{h_{\text{л}} \eta_2 \varepsilon \eta_2} \quad (3)$$

Приняв для удобства расчетов $h_{\text{л}} = 1$ см и зная предельный износ рабочего органа, можно определить долговечность его по формуле:

$$T = \frac{\Delta U_{\text{пр}} h_{\text{л}} \varepsilon \eta_2 A}{d_{\text{к}} q m_{\text{эт}} \eta_1 V_{\text{п}}} \quad (4)$$

где T – долговечность рабочего органа, пог. км; $\Delta U_{\text{пр}}$ – предельный износ рабочего органа на наиболее изнашиваемом участке, см; $V_{\text{п}}$ – поступательная скорость движения рабочего органа, км/ч; A – производительность лесопосадочной машины, пог. км/ч.

При двухслойном лезвии ножа сошника относительную износостойкость его можно определить по формуле:

$$U_{\text{л}}^{-1} = \frac{U_{\text{н}}^{-1} * h_{\text{н}} + U_{\text{а}}^{-1} * h_{\text{а}}}{h_{\text{н}} + h_{\text{а}}} \quad (5)$$

где $U_{\text{л}}^{-1}$ – относительная износостойкость двухслойного лезвия; $U_{\text{н}}^{-1}$, $U_{\text{а}}^{-1}$ – относительная износостойкость материала соответственно первого и

второго слоя; h_n и h_a – толщина соответственно несущего и армированного слоя, мм.

Выражение (5) свидетельствует о том, что износостойкость биметаллического лезвия подчиняется правилу аддитивности. Испытания на машине ВЧ подтвердили достоверность расчетов по зависимости (11).

Выводы. Исследование процесса абразивного изнашивания упрочненных почворезущих элементов показало, что износостойкость биметаллического лезвия определяется толщиной армирующего (упрочняющего) слоя. С увеличением толщины упрочняющего покрытия износостойкость лезвия возрастает. Таким образом, регулируя толщиной упрочняющего покрытия, мы можем прогнозировать ресурс рабочих органов почвообрабатывающих машин

Библиографический список

1. Кретинин В.И., Марков В.А., Соколова В.А., Марков А.Н. Теоретические предпосылки повышения долговечности почворезущих деталей при упрочнении. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 219. С. 156–160.
2. Кретинин В.И., Марков В.А., Соколова В.А., Марков А.Н. Трофимов А.В. Общие принципы управления качеством газопламенных покрытий при ремонте деталей// Научный периодический журнал. Системы Методы Технологии. №2(30),2016. С.79-83.
3. V.A. Markov, V.A Sokolova, V.I. Kretinin, Assessing the Impact Strength of Blade Edges of Forestry Machinery Operating Components//Lecture Notes in Mechanical Engineering, Proceedings of the 4th International Conference on Industrial Engineering ICEI2018 ,837-844.
4. Кретинин В.И. Прогнозирование ресурса рабочих органов лесохозяйственных машин// Леса России: политика, промышленность, наука, образование/материалы международной научно-технической конференции. Том1/ Под. ред. В.М. Гедьо. СПб, СПбГЛТУ, 2019. С. 358-360.
5. Кретинин В.И., Соколова В.А., Марков В.А., Теппоев А.В. Исследование процесса изнашивания упрочненных почворезущих элементов лесохозяйственных машин. Научный периодический журнал. Системы Методы Технологии. №1(45), 2020. С.108-112.

Сведения об авторах

ФИО	Кретинин Виктор Иванович
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 Алексей Викторович
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	Соловьева А.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	—

Аннотация

В статье исследуется процесс абразивного изнашивания упрочненных почворежущих элементов лесовосстановительных машин. Было показано, что износостойкость биметаллического лезвия определяется толщиной армирующего (упрочняющего) слоя.

Ключевые слова: упрочняющее покрытие, абразивное изнашивание, толщина лезвия; hardening coating, abrasive wear, blade thickness.

УДК 620.169.1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.21.99

Методика расчета балки переднего моста харвестера

Михайлов О.А., Зверев И.А.

Введение

Одним из основных элементов ходовой части харвестера является балка переднего моста, предназначенная для размещения внутри нее главной передачи, дифференциала и полуосей. Также балка переднего моста воспринимает продольные и поперечные опорные реакции, появляющиеся в результате взаимодействия почвы и колес машины [1], [2].

С учетом назначения, проведение прочностного расчета балки переднего моста харвестера является актуальной задачей.

Цель работы – составить методику проведения прочностного расчета балки переднего моста харвестера.

Методы исследования – математическое моделирование.

Результаты исследования.

На рис. 1 приведена расчетная схема балки переднего моста харвестера, с указанием действующих на нее сил.

Изгибающий момент балки в вертикальной плоскости определяется выражением:

$$M_B = R_Y \cdot l, \text{ кНм}, \quad (1)$$

где R_Y – нормальная реакция, действующая на колесо со стороны опорной поверхности, кН; l – расстояние от линии действия нормальной реакции до точки крепления передней полурамы харвестера к балке моста, м.

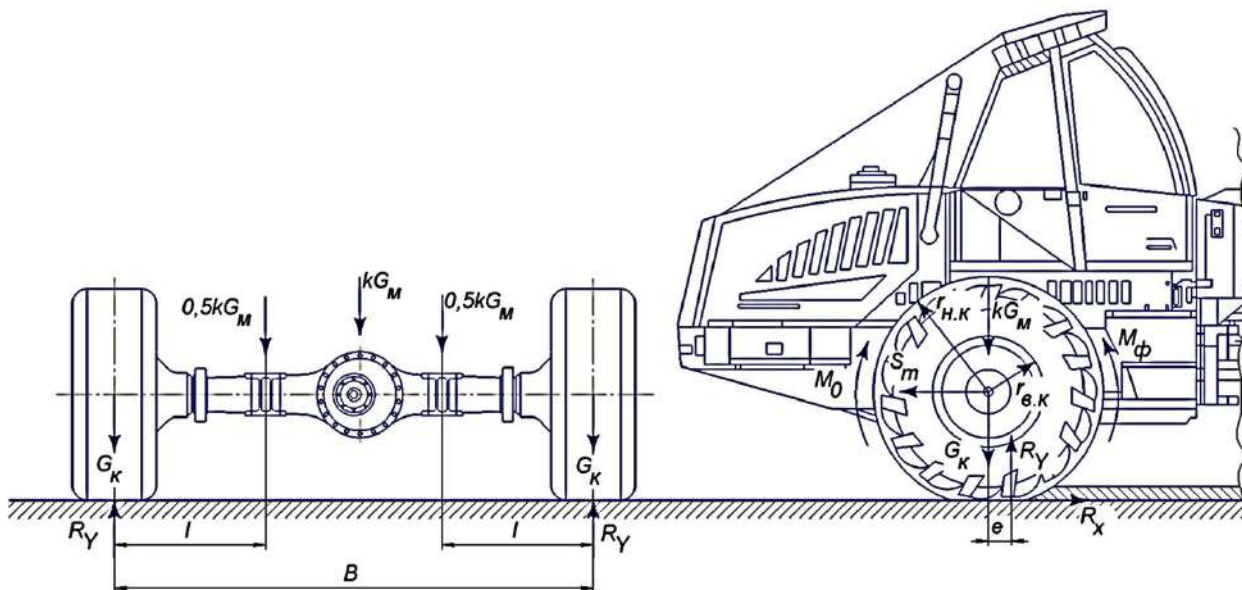


Рисунок. Расчетная схема балки переднего моста харвестера

Преобразовав выражение (1), получим:

$$M_B = (0,5G_M k + G_k)l, \text{ кНм} \quad (2)$$

где G_M – сила тяжести харвестера, кН; k – коэффициент, учитывающий долю массы харвестера, приходящейся на переднюю балку; G_k – сила тяжести переднего колеса харвестера, кН.

Учитывая, что масса технологического оборудования харвестера будет приходиться на корпус задней тандемной тележки, то на передний мост будет приходиться только сила тяжести силовой установки, передней полурамы и кабины оператора.

Изгибающий момент балки в горизонтальной плоскости определяется выражением:

$$M_\Gamma = S_T \cdot l, \text{ кНм} \quad (3)$$

где S_T – тянущая сила, кН.

Для определения тянущей силы, составим уравнения равновесия системы сил, действующих на колесо переднего моста харвестера [3]:

$$\left. \begin{aligned} R_X - S_T - \Phi &= 0 \\ R_Y - 0,5G_M \cdot k - G_k &= 0 \\ R_Y \cdot e + R_X \cdot r_{н.к} + M_\Phi - M_0 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

где R_X – касательная реакция, действующая на колесо со стороны опорной поверхности, кН; Φ – сила инерции, кН; e – смещение точки приложения нормальной реакции, м; $r_{н.к}$ – внешний диаметр колеса, м; M_Φ – момент инерции колеса, кНм; M_0 – крутящий момент на колесе, кНм.

Решив систему уравнений (4) относительно S_T и преобразовав полученное выражение, получим:

$$S_T = 0,5G_M k \varphi - \frac{G_K(r_{н.к}^2 + r_{в.к}^2)w_0}{2gr_{н.к}^3} - \frac{e(0,5G_M k + G_K)}{r_{н.к}} - \frac{G_K}{g} w_0, \text{ кН} \quad (5)$$

где φ – коэффициент сцепления колеса с почвой; $r_{в.к}$ – внутренний диаметр колеса, м; g – ускорение свободного падения, м/с²; w_0 – угловая скорость колеса, рад/с.

Подставив выражение (5) в уравнение (3), получим искомый горизонтальный изгибающий момент:

$$M_\Gamma = 0,5G_M k \varphi l - \frac{G_K(r_{н.к}^2 + r_{в.к}^2)lw_0}{2gr_{н.к}^3} - \frac{el(0,5G_M k + G_K)}{r_{н.к}} - \frac{G_K}{g} lw_0, \text{ кНм} \quad (6)$$

Крутящий момент балки переднего моста харвестера определяется выражением:

$$M_{кр} = P_0 \cdot r_{н.к}, \text{ кНм} \quad (7)$$

где P_0 – касательная сила тяги, кН.

Преобразовав выражение (7), получим:

$$M_{кр} = 0,5G_M k \varphi \cdot r_{н.к}, \text{ кНм}, \quad (8)$$

Опасными сечениями являются места крепления передней полурамы харвестера к балке моста. Эквивалентное напряжение в опасном сечении можно определить по третьей теории прочности:

$$\sigma_{эkv} = \sqrt{\sigma_{изг}^2 + 4\tau^2} \text{ МПа}, \quad (9)$$

где $\sigma_{изг}$ – нормальное напряжение при изгибе балки в опасном сечении, МПа; τ – касательное напряжение при кручении балки в опасном сечении, МПа.

$$\sigma_{изг} = \frac{M_B}{W_B} + \frac{M_\Gamma}{W_\Gamma}, \text{ МПа} \quad (10)$$

$$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{кр}}, \text{ МПа}$$

где W_B , W_Γ и $W_{кр}$ – моменты сопротивления сечения балки при изгибе в вертикальной и горизонтальной плоскости и кручении, соответственно, м³.

Учитывая, что балка переднего моста харвестера имеет трубчатое сечение, то моменты сопротивления сечения балки определяются выражением:

$$W_B = W_\Gamma = W_{кр} = \frac{\pi(D^2 - d^2)}{32D}, \text{ м}^3 \quad (11)$$

где D и d – внешний и внутренний диаметр балки переднего моста харвестера, соответственно, м.

Заключение.

Балка переднего моста харвестера является одним из наиболее нагруженных элементов ходовой части машины. Ее расчет на прочность необходим для

последующего проектирования всего переднего моста, а также харвестера в целом. Представленная в работе методика позволяет проводить прочностные и проверочные расчеты передних мостов лесосечных машин

Библиографический список

1. Конструирование и расчет колесных машин высокой проходимости: Учебник для вузов/Н.Ф. Бочаров, И.С. Цитович, А.А. Полунгян и др.; под общ. ред. Н.Ф. Бочарова, И.С. Цитовича. – М.: Машиностроение, 1983. – 299 с., ил.
2. Андронов А.В. Многооперационные лесные машины: учебное пособие для студентов направлений подготовки 15.03.02 «Технологические машины и оборудование» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов» / А.В. Андронов [и др.]. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 130 с.
3. Александров В.А., Шоль Н.Р. Конструирование и расчет машин и оборудования для лесосечных работ и нижних складов: Учебник. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Издательство «Лань», 2012. – 256 с.: ил. – (Учебники для вузов. Специальная литература).

Сведения об авторах

ФИО Михайлов Олег Андреевич
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 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 1126-2121
e-mail igorzv1997@gmail.com

Аннотация

В статье изложена методика проведения прочностного расчета балки переднего моста харвестера с колесной формулой 6К6. Представлена расчетная схема с указанием действующих на балку сил. Описанная методика позволяет проводить прочностные и проверочные расчеты передних мостов лесосечных машин.

Ключевые слова: харвестер, передний мост, балка, колесо; harvester, front axle, beam, wheel.

УДК 630*36

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.17

Расчет долговечности сварных соединений при малоциклового усталости

Пенкин А.Н., Сергеевичев А.В.,
Сергеевичев В.В., Дедерер М.А., Торочков Д.А.

Введение

В настоящей работе предлагается методика расчета конструктивного элемента, работающего в условиях жесткого малоциклового нагружения на основе энергетического критерия, ранее применявшегося для расчета деталей при мягком малоциклового нагружении [1].

Экспериментальные исследования проводились на серийной испытательной машине, позволяющей проводить опыты при жестком режиме малоциклового нагружения. В процессе всех экспериментов проводилась непрерывная запись диаграмм деформирования на двухкоординатный самопишущий прибор. Все значения деформаций и напряжений определялись по указанным диаграммам. Образцы изготовлялись из титанового сплава ПТ-3В путем сваривания двух половинок с помощью электронно-лучевой сварки в специальном приспособлении, позволяющем получать образцы с минимальным осевым отклонением. Перед испытанием каждого образца проверялась соосность приложения нагрузки путем измерения упругих деформаций на четырех наружных волокнах рабочей части образца. Испытания проводились при симметричном цикле изменение деформации и комнатной температуре.

В основе расчета лежит структурно-механическая модель материала (рис. 1), в которой E_1, E_3, E_4 – коэффициенты жесткости ветвей 1, 3 и 4 соответственно, C_2 и C_5 – предельные сопротивления ветвей 2 и 5. Принцип работы модели подробно описан в работе [2].

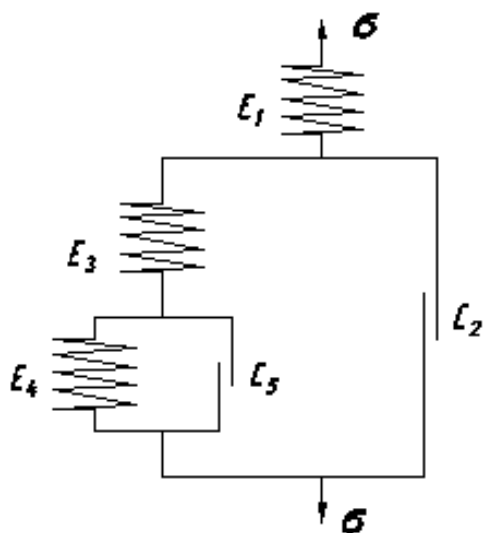


Рисунок 1. Структурная модель материала

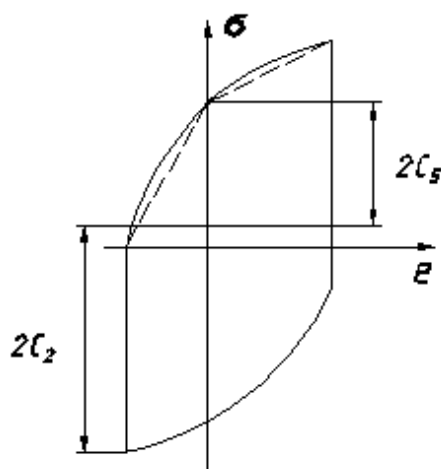


Рисунок 2. Диаграмма малоциклового деформирования

Все параметры модели определяются на основе экспериментальных диаграмм малоциклового деформирования, записанных 3–5 цикле жесткого нагружения при любом размахе пластических деформаций как показано на рис. 2.

При нагружении образца в пределах упругости происходит деформирование элемента E_1 , который является модулем упругости материала. При достижении предела текучести включается в работу звено E_3 и соотношение между напряжениями и деформациями без учета упругой части запишутся в виде:

$$\sigma = C_2 + E_3 e \quad (1)$$

В процессе дальнейшего нагружения включается в работу звено E_4 и тогда:

$$\sigma = \frac{eE_3E_4 + C_2(E_3 + E_4) + C_5E_3}{E_3 + E_4} \quad (2)$$

При достижении деформацией максимального значения происходит разгрузка системы, а затем последующее нагружение в область сжатия. При этом значения напряжений определяются по выражениям (1, 2), если при достижении максимума деформаций производится мысленная разгрузка системы на величину C_2+C_5 , что соответствует изменению положения начала координат. Когда деформация достигнет заданного минимального значения, снова производится переход к новому началу координат с последующей разгрузкой и нагружением в область растяжения, и при достижении деформацией максимального значения петля пластического гистерезиса является необратимой работой пластического деформирования за один цикл изменения нагрузки.

Для прогнозирования долговечности образцов при жестком режиме малоциклового нагружения кинетическое уравнение повреждений в случае стационарного нагружения и отсутствия односторонне накопленной деформации запишем в виде:

$$\Pi = \frac{e_{max}^{(p)}}{e_{ut}} + \varphi \left(\frac{\omega^p}{\omega} \right) N \quad (3)$$

где Π – мера повреждения материала ($1 \geq \Pi \geq 0$); $e_{max}^{(p)}$ – максимальная за период цикла пластическая деформация; e_{ut} – истинная деформация при статическом разрыве; N – число циклов нагружения; ω^p – площадь петли пластического гистерезиса; ω – площадь под кривой статического разрушения; $\varphi\left(\frac{\omega^p}{\omega}\right)$ – функциональный параметр, зависящий от циклических свойств материала.

Полагая, что при разрушении $\Pi=1$, определяем долговечность, рис. 3:

$$N_p = \frac{1 - \frac{e_{max}^{(p)}}{e_{ut}}}{\varphi\left(\frac{\omega^p}{\omega}\right)} \quad (4)$$

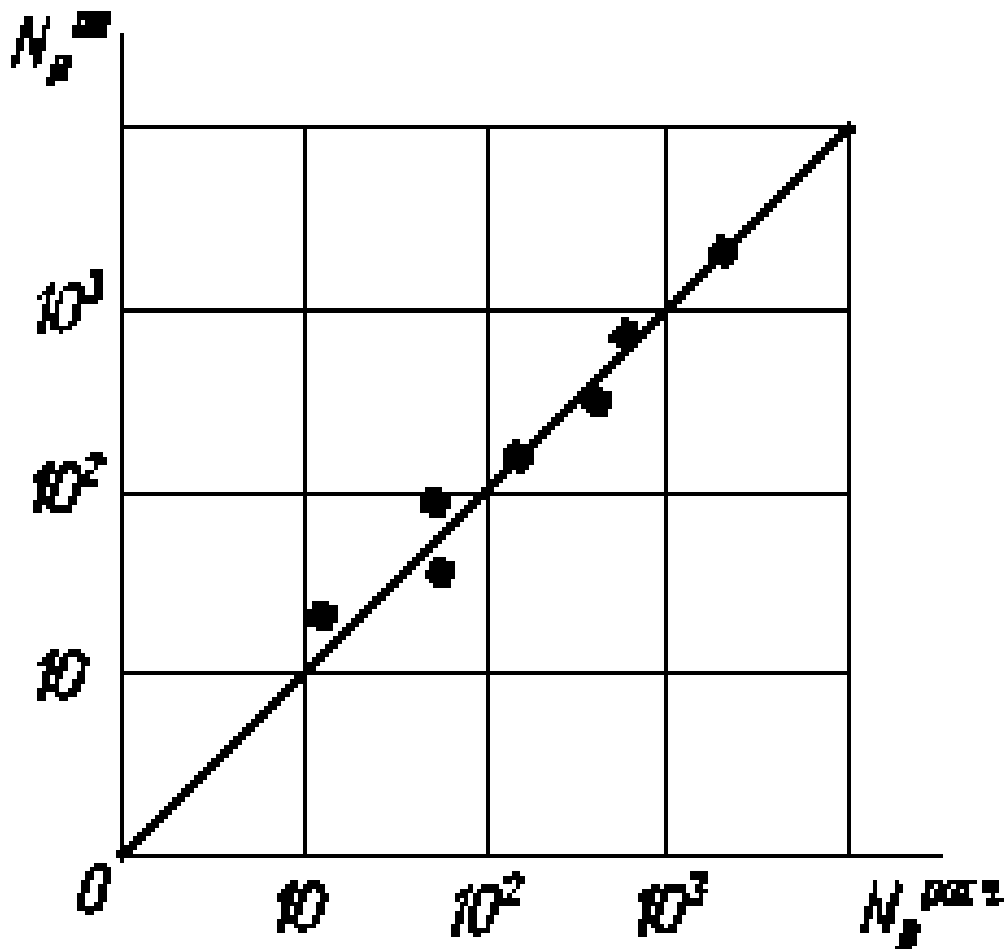


Рисунок 3. Сравнение опытной и расчетной долговечностей

На рис. 3 сравниваются опытные и расчетные долговечности, найденные по выражению (4). Как видно из рисунка расчетные долговечности $N_p^{расч}$ близки к опытным значениям, причем среднестатистическое отклонение по долговечности составило 22%, что можно считать вполне удовлетворительным результатом.

Библиографический список

1. Павлов П.А. Механические состояния и прочность материалов, Л.: изд. ЛГУ, 1980.–175с.
2. Пенкин А.Н. Построение диаграмм циклического деформирования при расчетах на малоцикловую усталость в условиях сложного напряженного состояния. – М.: Известия вузов. Машиностроение. 1989. №12.–С.11–14.

Сведения об авторах

ФИО

Пенкин Александр Николаевич

Организация

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

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код —
e-mail anpenkin2020@mail.ru

ФИО Сергеевичев Александр Владимирович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код 4629-6720
e-mail 910sav@gmail.com

ФИО Сергеевичев Владимир Васильевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код 9168-3411
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Дедерер Михаил Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код —
e-mail sp1kexx89@gmail.com

ФИО Торочков Дмитрий Алексеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код —
e-mail torochkov501@gmail.com

Аннотация

В статье предлагается методика расчета конструктивного элемента, работающего в условиях жесткого малоциклового нагружения на основе

энергетического критерия. Полученные результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными, которые получены при малоцикловом нагружении сварных цилиндрических образцов из титанового сплава ПТ-3В.

Ключевые слова: деформация, напряжения, структурно-механическая модель, число циклов, петля пластического гистерезиса, функциональный параметр.

УДК 539.385

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 30.19.57

Исследование механизма усталостного разрушения малоуглеродистой стали

**Пенкин А.Н., Сергеевичев А.В.,
Сергеевичев В.В., Дедерер М.А., Торочков Д.А.**

Введение

Испытания малоуглеродистой стали в основном проводятся при жестком нагружении. В данной работе приводятся результаты экспериментальных испытаний при мягком нагружении малоуглеродистой стали при различных коэффициентах асимметрии цикла нагружения.

При мягком режиме нагружения стабильных и разупрочняющихся материалов в процессе деформирования происходит одностороннее накопление пластических деформаций, особенно при асимметричном нагружении. Кроме того, для разупрочняющихся материалов петля пластического гистерезиса часто не обладает стабильностью. В зависимости от режима нагружения и типа материала разрушение может быть: усталостным, квазистатическим или промежуточным. Усталостное разрушение происходит вследствие образования и развития усталостной трещины и имеет место в случае жесткого режима нагружения. Квазистатическое разрушение, точнее потеря несущей способности, происходит вследствие локализации пластических деформаций в виде шейки с последующим дорывом. Промежуточное разрушение предполагает одновременную локализацию пластических деформаций и возникновение усталостной трещины.

Экспериментальные исследования проводились на испытательной машине, позволяющей испытывать образцы в условиях линейного напряженного состояния, как при постоянной нагрузке, так и в условиях малоциклового нагружения (растяжение-сжатие) с любым коэффициентом асимметрии цикла. Для измерения продольных деформаций при линейном напряженном состоянии использовался тензомер, входящий в комплект испытательной машины. В процессе испытаний проводилась непрерывная запись диаграмм

деформирования (петель пластического гистерезиса). В качестве материала для исследований принята широко применяемая в промышленности сталь 45. При линейном напряженном состоянии большинство образцов разрушалось в пределах рабочей части, однако были и такие образцы, разрушение которых происходило в зоне перехода от рабочей части к головкам. Такие образцы были исключены из рассмотрения. Эксперименты, проведенные на этом же материале при мягком режиме нагружения и симметричном цикле ($R_\sigma = -1,0$) изменения нагрузки показали, что данная сталь 45 является циклически разупрочняющимся материалом. Как известно, у таких материалов при мягком режиме нагружения кроме возникновения петель пластического гистерезиса происходит одностороннее накопление пластических деформаций. Однако, указанное разупрочнение для данного материала выражено слабо.

Изменение величины односторонне накопленной пластической деформации, за один цикл в процессе нагружения, начиная с первых циклов, накопленная пластическая деформация уменьшается, а перед самым разрушением резко возрастает. В дальнейшем используется осредненная величина односторонне накопленной пластической деформации за один цикл, которая также соответствует примерно 50% долговечности образца. На рис. 1 приведены кривые малоциклового усталости при мягком режиме нагружения для различных значений коэффициента асимметрии.

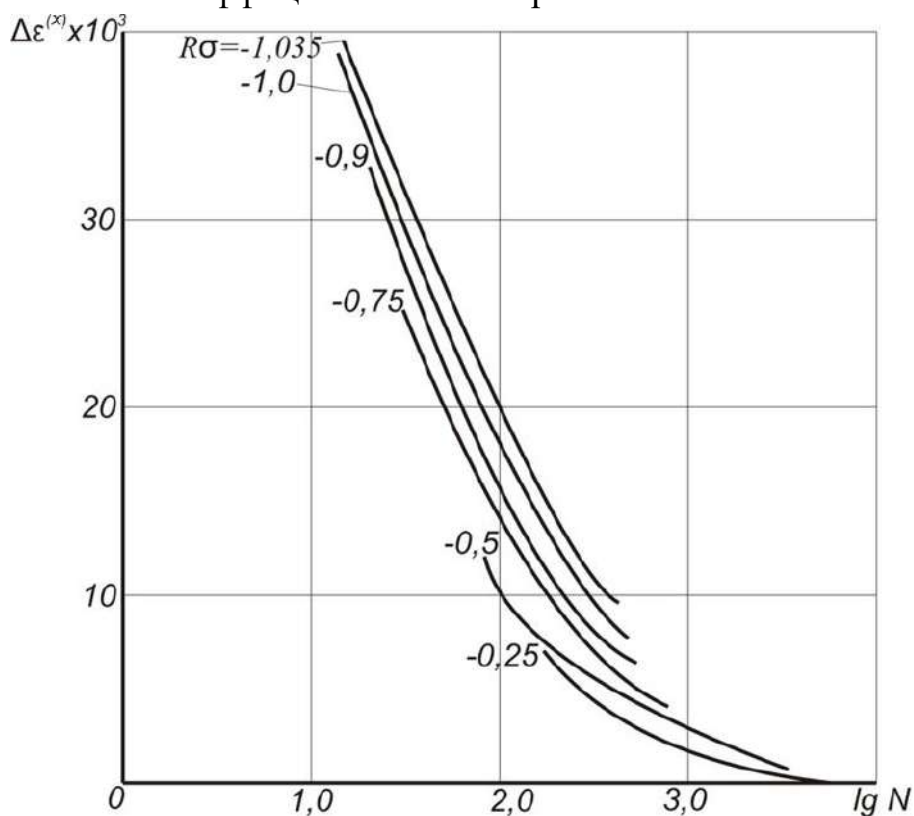


Рисунок 1. График зависимости $\Delta E^{(X)}$ от N_p при различных значениях R_σ

Как уже отмечалось ранее, мягкое нагружение разупрочняющейся стали 45 при $R_\sigma = -1,0$ сопровождается некоторым односторонним накоплением

330

пластических деформаций. При асимметричном нагружении процесс одностороннего накопления пластических деформаций происходит более интенсивно. Так, например, если при коэффициенте асимметрии $R_{\sigma} = -1,0$ односторонне накопленная пластическая деформация за один цикл δ составляет примерно тридцатую часть ширины петли пластического гистерезиса, то при $R_{\sigma} = -0,5$ величина δ составляет пятую часть ширины петли пластического гистерезиса. Односторонне накопленная пластическая деформация не обнаружена при $R_{\sigma} = -1,035$.

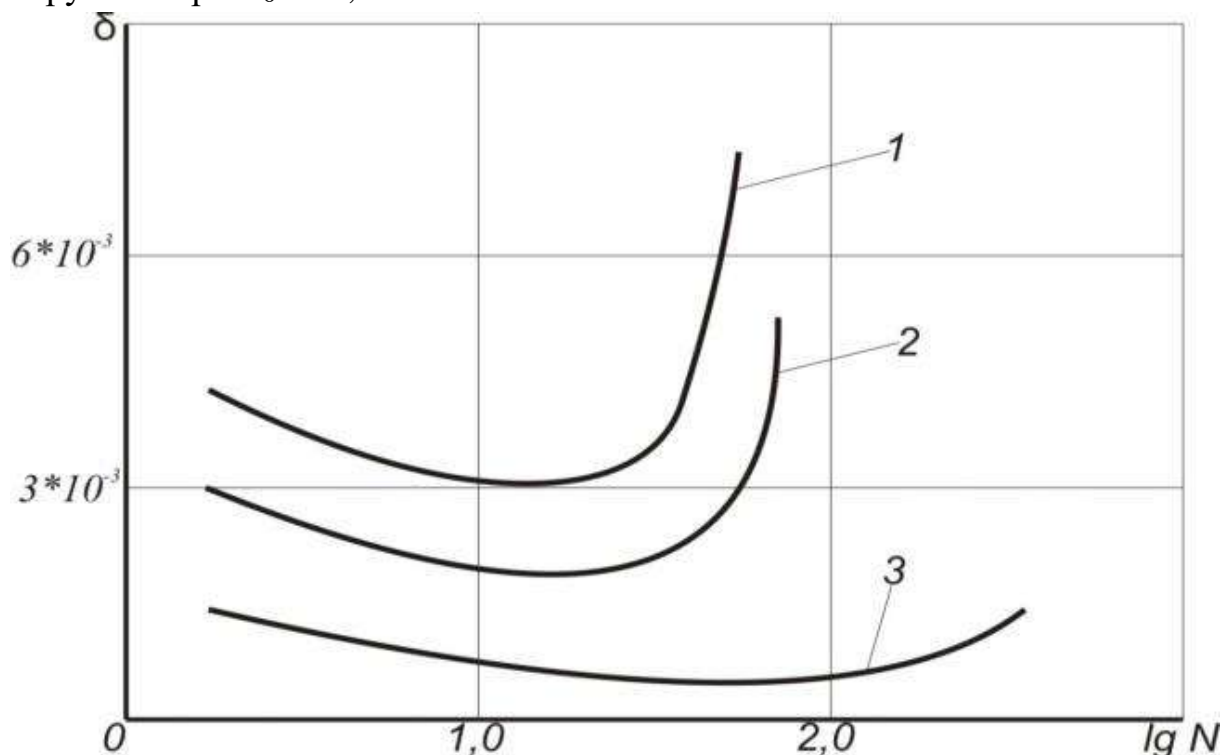


Рисунок 2. Изменение величины односторонне накопленной пластической деформации:
1 – $R_{\sigma} = 0,75$, 2 – $R_{\sigma} = 1$; 3 – $R_{\sigma} = 0,5$

Из рис. 2 видно, что наибольшее накопление пластических деформаций за один цикл происходит при значении коэффициента асимметрии равном $-0,75$. На рис. 2 представлены кривые зависимости величины односторонне накопленных пластических деформаций за один цикл от числа циклов до разрушения при различных значениях коэффициента R_{σ} , причем кривые имеют одинаковый вид, но с увеличением R_{σ} сдвигаются в область больших долговечностей.

Одностороннее накопление пластических деформаций отсутствует при жестком режиме нагружения всех трех типов материалов упрочняющихся, стабильных, разупрочняющихся, а также при мягком режиме упрочняющихся материалов. Однако механизмы деформирования и разрушения при жестком и мягком режимах нагружения сильно отличаются друг от друга. Поэтому для определения зависимости ширины петли пластического гистерезиса от числа циклов до разрушения в отсутствие одностороннего накопления пластических деформации была проведена серия опытов при ряде значений коэффициента

асимметрии $R_\sigma < -1,0$. Эти эксперименты показали, что одностороннее накопление пластических деформаций отсутствует при $R_\sigma = -1,035$.

В итоге проведенных экспериментальных исследований малоциклового усталости образцов из стали 45 установлено, что одностороннего накопления деформаций для циклически нестабильной стали при мягком режиме нагружения можно избежать или свести ее к минимуму при определенном коэффициенте асимметрии цикла. В данном случае при $R_\sigma = -1,035$.

Библиографический список

1. Павлов П.А. Основы инженерных расчетов элементов на усталость и длительную прочность. – Л.: Машиностроение, 1988. с. 252.
2. Пенкин А.Н. Построение диаграмм циклического деформирования при расчетах на малоцикловую усталость в условиях сложного напряженного состояния. – М: Машиностроение, 1989, с. 11-14.

Сведения об авторах

ФИО Пенкин Александр Николаевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail anpenkin2020@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 4629-6720
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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9168-3411
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Дедерер Михаил Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код —
e-mail sp1kexx89@gmail.com

ФИО Торочков Дмитрий Алексеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код —
e-mail torochkov501@gmail.com

Аннотация

В статье приводятся результаты экспериментальных исследований при мягком циклическом нагружении образцов из стали 45. Показаны изменения ширины петли пластического гистерезиса о одностороннего накопления пластических деформаций в процессе малоциклового нагружения.

Ключевые слова: деформация, напряжения, одностороннее накопление пластических деформаций, мягкое малоцикловое нагружение.

УДК 539.385

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 30.19.57

Разработка металл-водородных технических мышц для машин и оборудования лесного комплекса

Кизиллов А.Б., Давидов А.В., Волков А.Ф.

Введение

Технические мышцы обоснованно считаются перспективными приводными устройствами, свободными от многих недостатков, свойственных традиционным видам привода. Однако, недостаточно высокие показатели быстродействия и коэффициента полезного действия препятствуют их широкому внедрению в машины и оборудование лесного комплекса [1]. Общим принципом работы технических мышц является сокращение цилиндрической эластичной оболочки с анизотропными свойствами под воздействием избыточного давления во внутренней полости [2]. От природы источника избыточного давления во многом зависят все характеристики мускульного привода. Одним из направлений поиска эффективных источников давления, является внедрение в состав технических мышц металл-водородных электрохимических ячеек.

Цель работы – описать основные процессы, протекающие в металл-водородных технических мышцах.

Методы исследования: методы термодинамики и электрохимии.

Результаты исследования.

В качестве примера была рассмотрена электрохимическая ячейка, содержащая обратимый кадмиевый электрод, изготовленный по металлокерамической технологии, и водородный электрод в щелочном электролите, применяемый в топливных элементах. Материал металлического электрода в дальнейшем будет определяться требованиями, предъявляемыми к конкретной технической мышце и условиями её эксплуатации.

Поскольку через электроды металл-водородной ячейки, функционирующей в качестве электрохимического привода, необходимо для обеспечения быстродействия мышцы пропускать большой ток, то существенно иметь твердофазный электрод, отвечающий следующему набору требований.

Высокая удельная поверхность S , т.е. истинная поверхность в единице объема. Для кадмиевого электрода металлокерамической конструкции эта величина составляет $10^6 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Электрод должен обладать высокой эффективной электропроводностью в электролите (X_1) и значительной скоростью собственно электрохимической стадии переноса заряда, которая характеризуется константой k_1 . Связь между плотностью тока, снимаемого с электрода, и удельными параметрами определяется зависимостью

$$I = \frac{4RT}{F} (k_1 X_1 S_1)^{\frac{1}{2}} \cdot \text{Sh}\left(h_0 \frac{F}{4RT}\right) \quad (1)$$

где h_0 – поляризация электрода, т.е. разность между равновесным и фактическим потенциалами электрода.

К водородному электроду, по существу, предъявляется аналогичный набор требований, который реализуется в следующей технологической схеме [3]. Платиновая чернь и порошок фторопласта в определенных пропорциях напрессовываются на токопроводящую никелевую пористую подложку. Платина необходима для реализации каталитической функции, т.е. увеличения константы скорости электрохимической реакции k_2 а фторопласт добавляется для обеспечения транспортной функции, т.е. повышения эффективной поверхности раздела зоны токообразования.

Выражение для максимального тока на водородном электроде в зависимости от перечисленных параметров и давления водорода P_{H_2} определяется зависимостью:

$$I = (2FD_{H_2}S_2k_2)^{1/2} * P_{H_2}^{3/4} \exp\left(-\eta \frac{F}{4RT}\right) \quad (2)$$

В выражении (2) фигурирует эффективный коэффициент диффузии водорода D_{H_2} в пленке электролита. Формулы (1) и (2) позволяют рассчитать

вольтамперную характеристику металл-водородной ячейки, если известны макрокинетические (D, X) и структурные (S) параметры отдельных электродов.

Объем генерируемого водорода при давлении в 0,1 МПа определяется выражением:

$$V = a \int_0^{\tau} I dt \quad (3)$$

где $a = \frac{RT}{zF}$, R – газовая постоянная, F – постоянная Фарадея.

Детальный расчет указывает, что прохождение тока в 1А генерирует при нормальных условиях $1,16 \cdot 10^{-4}$ л/с водорода.

Выражение для работы, совершаемой в изотермических условиях, можно записать в виде:

$$A = a \int_0^{\tau} I dt \ln \frac{V_{\tau}}{V_0} \quad (4)$$

где V_0 – начальный объем в момент времени $t = 0$, V_{τ} – объем в момент времени τ .

Уравнение движения, вызываемого электропневматической ячейкой, имеет вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{a \int_0^{\tau} I dt}{x} - F(t) \quad (5)$$

где m – масса исполняющего механизма, x – линейное перемещение, $F(t)$ – сила сопротивления.

При гальваностатическом режиме управления приводом $I = \text{const}$ и уравнение (5) принимает следующий вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{aI\tau}{x} - F(t) \quad (6)$$

Уравнение (6) допускает аналитическое решение только для некоторых частных случаев. Например, когда нагрузка $F(t)$ линейно меняется во времени, переменные разделяются и возможно решение в квадратурах. Таким образом, создание алгоритмов управления металл-водородными техническими мышцами в различных режимах требует дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Кизилов 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. Кизилов 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. Гедьо, Т.В. Коваленко. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 29 с.
3. Центр Б.И., Лызов Н.Ю. Металл-водородные электрохимические системы. Л.: Химия, 1989. -282 с.

Сведения об авторах

ФИО Кизилев Андрей Борисович
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 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 3746-7770
e-mail Andrevv97@gmail.com

ФИО Волков А.Ф.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail volcharsonzz@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены основные процессы, протекающие в металло-водородных технических мышцах. Рассмотрены вопросы управления металло-водородными техническими мышцами в машинах и оборудовании лесного комплекса.

Ключевые слова: техническая мышца, электрохимия.

УДК 621.865:669.018.2

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.30.29

Технические мышцы в манипуляторах со сложной кинематикой

Кизилев А.Б., Давидов А.В., Волков А.Ф.

Введение

Появление технических мышц (ТМ) позволяет реализовать конструкции звеньев манипулятора наиболее близкие к биологическим прототипам (конечностям человека и животных) [1]. Подобные манипуляторы могут использоваться в промышленных роботах, применяемых для автоматизации

лесного машиностроения, а в перспективе и в манипуляторах лесозаготовительных машин.

Цель работы – создать предпосылки для разработки манипулятора со значительным числом степеней подвижности на базе применения технических мышц.

Методы исследования – методы теории манипуляционных систем.

Результаты исследования.

Универсальным звеном многостепенных манипуляторов может быть звено (сустав), представляющий собой кинематическую пару 3 класса, приводить в движение которую существующими приводами (электрическим, пневматическим и гидравлическим с редукторами и без них) довольно трудно, так как требуется пространственное перемещение подвижной части сустава. Типовые звенья современных манипуляторов в основном представляют собой кинематические пары 5 класса, рассчитанные на применение в серийном производстве.

Известны конструкции манипуляционных систем в виде так называемых платформ Стюарта. Такая платформа представляет собой две пластины, соединенные стержнями переменной длины с встроенными поступательными парами. В работе [2] описан экспериментальный манипулятор с жесткими пневмоприводами, основанный на принципах платформы Стюарта. Приведенный манипулятор обладает 30 степенями подвижности при пяти однотипных суставах, что значительно увеличивает его маневренность, несмотря на двухпозиционность приводов (схват имеет 2 в 30 степени положений в пространстве).

В предлагаемой конструкции сустава (рисунок) добавлен жесткий осевой стержень $00'$ который неподвижно закреплен в центре нижней пластины (основания сустава). Верхняя пластина связана с осевым стержнем шаровым шарниром, ТМ попарно прикреплены к четырем точкам основания. На верхней подвижной пластине ТМ также попарно закреплены в четырех точках, сдвинутых относительно соответствующих точек основания на 45° . Таким образом, пары ТМ в статическом состоянии образуют четыре равнобедренных треугольника (например, АКВ).

Такая конструкция сустава и распределение ТМ позволяет реализовать качание подвижной пластины вокруг осей X и Y и вращение вокруг оси Z . Фактически это означает, что такой сустав заменяет три звена с кинематическими парами 5 класса.

При использовании гибких ТМ принципиально необходим жесткий осевой стержень, введенный в сустав.

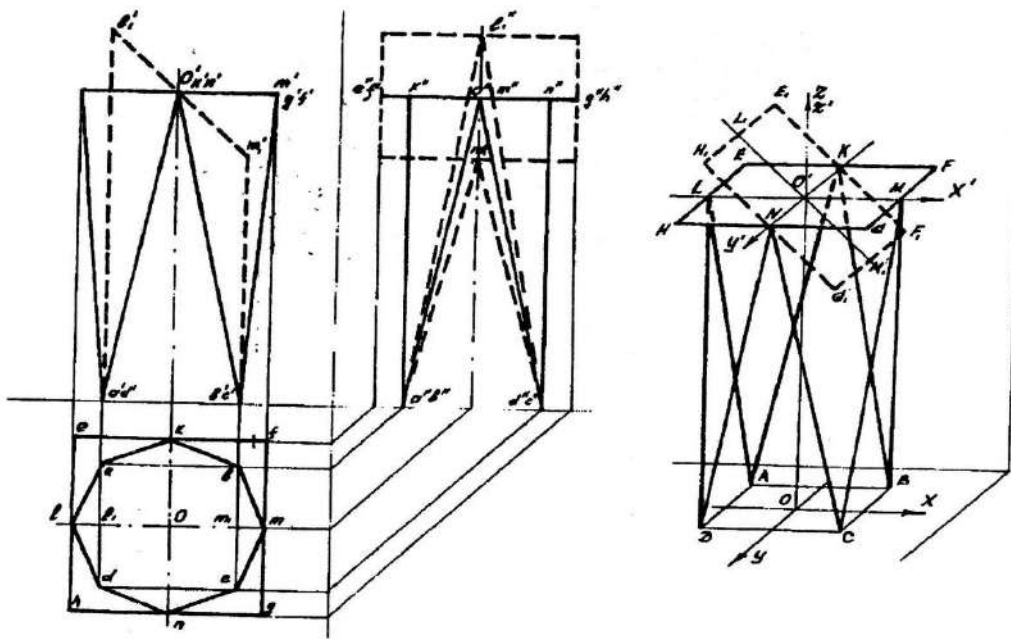


Рисунок. Звено (сустав) манипулятора

Свяжем неподвижную систему координат $OXYZ$ с нижней пластиной, как показано на рисунке, так что координаты i -й точки прикрепления ТМ на нижней пластине будут $[x_i, y_i, 0]$. Свяжем далее подвижную систему координат $O'X'Y'Z'$ с верхней пластиной, так что координаты i -ой точки прикрепления ТМ на верхней пластине будут $[x'_j, y'_j, 0]$.

Примем в качестве обобщенных координат системы длины ТМ $l_{i,j}$ ($i = 1, 2, \dots, 4; j = 1, 2, \dots, 4$). Задание, характеризующее требуемое положение верхней подвижной пластины относительно неподвижной системы координат $OXYZ$, содержит матрицу $[3 \times 3]$ направляющих косинусов осей системы $O'X'Y'Z'$ и координаты центра O' в неподвижной системе координат. При известных координатах точек закрепления ТМ на подвижной пластине в системе координат, связанной с ней, легко определить абсолютные координаты этих точек:

$$x_j = x'j \cos(\widehat{x\widehat{x}'}) + y'j \cos(\widehat{x\widehat{y}'}) + x_{0'} \quad (1)$$

$$y_j = x'j \cos(\widehat{y\widehat{x}'}) + y'j \cos(\widehat{y\widehat{y}'}) + y_{0'} \quad (2)$$

$$z_j = x'j \cos(\widehat{z\widehat{x}'}) + y'j \cos(\widehat{z\widehat{y}'}) + z_{0'} \quad (3)$$

Обобщённые координаты:
$$l_{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 + (z_i - z_j)^2} \quad (4)$$

Таким образом, обратная задача кинематики для одного сустава решена. В предлагаемом трехзвенном манипуляторе, построенном по указанным принципам с приводами на ТМ, каждая степень подвижности сустава имеет диапазон $\pm 45^\circ$. В отличие от дискретных пневмоприводов, используемых в ранее описанном манипуляторе [2], приводы на ТМ управляются в позиционном

режиме. Это позволяет обеспечить значительно большее количество позиций конечного звена манипулятора.

При выключенном питании вследствие расслабленных ТМ, манипулятор имеет безразличное состояние. При введении манипулятора в управляемое состояние (после включения питания) требуется предварительное натяжение всех ТМ (например, мощным, кратковременным импульсом тока). Затем манипулятор может быть выведен в исходное состояние по датчикам обратной связи характеристических координат манипулятора (пространственных углов между суставами звеньев). Такое предварительное натяжение ТМ позволяет выбрать конструктивные зазоры и люфты в кинематических парах манипулятора и придает жесткость всей конструкции.

Управление манипулятором возможно в двух режимах: копирующем и аналитическом.

В копирующем режиме используется предварительное обучение путем вывода конечного звена манипулятора в заданную позицию с запоминанием конечных значений обобщенных координат приводов (длина ТМ). Вывод манипулятора в нужную точку пространства производится путем непосредственного управления с пульта оператора девятью характеристическими координатами манипулятора. Характеристические координаты автоматически пересчитываются в обобщенные координаты приводов. Отработка заданной при обучении позиции происходит автоматически по запомненным значениям обобщенных координат приводов.

Аналитический режим требует предварительного задания обобщенных координат конечного звена на языке программирования VAL. Эти значения поэтапно пересчитываются сначала в характеристические, а затем в обобщенные координаты приводов.

В дальнейшем предполагается исследовать работу приводов и поведение манипулятора в нагруженном режиме. Для увеличения нагрузочной способности самого манипулятора ТМ планируется использовать в пакетах по несколько штук

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. *Корендяев А.И., Саламандра Б.Л. и др.* Манипуляционные системы роботов. -М.: Машиностроение, 1989. - 470 с.

Сведения об авторах

ФИО

Кизилев Андрей Борисович

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 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 3746-7770
e-mail Andrevv97@gmail.com

ФИО Волков А.Ф.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail volcharsonzz@mail.ru

Аннотация

Рассмотрена кинематика многостепенного манипулятора для лесной отрасли. Предложены принципы построения манипулятора со сложной кинематикой на базе применения технических мышц.

Ключевые слова: техническая мышца, манипулятор.

УДК 681.5.015

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.30.31

Некоторые инженерно-психологические проблемы создания задающих органов управления манипуляторами

Власов Е.Н.

Введение

Снижение времени и повышение точности и вероятности успешного выполнения управляющих воздействий играет важную роль в организации эффективной деятельности оператора, дает ему возможность создать определенный резерв времени и психологической энергии для выполнения

основных, связанных с принятием решения и формированием команд управления системой [1]. Исполнительная деятельность оператора является составной частью общей структуры деятельности оператора и, поэтому рациональная организация ввода управляющих воздействий должна затронуть аспекты его деятельности. Формально, оптимизация исполнительской деятельности оператора должна заключаться не в создании нового органа управления, а в разработке принципиально нового способа организации операторской деятельности, при которой будут соблюдаться «структурные соответствия органов управления и систем отображения информации». Разработка принципов оптимизации деятельности оператора возможна только на основе системного подхода к исследованию деятельности оператора.

В настоящее время практически любое проектирование деятельности оператора, в том числе и исполнительской, а также органов управления, базируется в основном на учете антропометрических характеристик человека и использования принципов и рекомендаций кодировки органов управления цветом, формой, размерами. Безусловно, учет антропометрических характеристик человека является необходимой основой создания новых пультов управления, но не может исчерпать всего круга задач. Эти задачи определяются особенностями операторской деятельности на современном этапе развития систем «Человек-машина», а именно: увеличение числа приборов, отображающих информацию состояния системы, скорости протекания технологических процессов, ответственности за совершенные действия, повышение требований надежности работы операторов в стрессовой ситуации, обучаемости и сохранение навыков по управлению сложной технической системой.

Оптимистические прогнозы для решения данных задач дает антропометрический подход к проектированию систем «человек-машина». Использование данного подхода предполагает решение не частных задач, как скажем создание нового органа управления, а проектирование всей исполнительской деятельности на основе ее предварительного психофизического анализа. В настоящее время имеет место подход, при котором человек и техника рассматриваются как равноправные компоненты системы «человек-машина», проектирование которых ведется параллельно с последующей стыковкой, согласованием обеих частей проекта, а в ряде случаев, проектирование технических средств опережает проектирование деятельности оператора.

Современные манипуляторы (М) представляют собой сложные системы, в которых основную функцию управления осуществляет человек-оператор. Очевидно, что точностные и временные характеристики их работы зависят от

свойств технической системы, как и от качеств оператора. Функции человека по управлению М изменяются в самых широких пределах. Они могут ограничиться сравнительно простыми операциями периодического включения, выключения, переключения и относительно мало влияют на точность и производительность процесса манипулирования. Однако. В большинстве случаев от оператора требуется реализация сложных программ управления, построение и координация мелких и размашистых. Плавных и быстрых движений, точность выполнения которых определяет эффективность работы биотехнической системы. Иными словами, современные М отличаются сложностью реализации функций и требует непрерывного участия оператора в выполнении задания. В связи с этим, чрезвычайно важно изучение деятельности человека, управляющего М.

Значимость таких исследований не вызывает сомнений.

При проектировании М возникает ряд проблем:

- отсутствие достаточных сведений о закономерностях работы оператора;
- отсутствие количественных и качественных зависимостей между динамикой М и динамикой оператора;
- сложность технического описания действий оператора, обеспечивающих оптимальную работу М.
- основные задачи исследования деятельности оператора. На основе решений, которых возможно обоснованное проектирование деятельности оператора:
- анализ строения руки оператора и определение ее основных манипуляционных возможностей (кисти и каждого пальца, как исполнительного органа;
- определение манипуляционных возможностей ноги как исполнительного органа;
- определение возможностей координации работы двух рук, двух ног, рук и ног как исполнительных органов;
- определение основных динамических характеристик руки и ноги человека;
- анализ работы оператора совместно с системой управления.

Качественные и количественные характеристики управляющих движений человека, особенности их зависимости от параметров М, систем управления, отражения информации и выполнения требуемых задач необходимы для:

- конструирования органов управления М, определения их технических параметров и условий применения;
- определения путей рационального выполнения заданных операций;
- рационального распределения функций между ЭВМ и оператором;
- разработка методов отбора и тренировки оператора.

В настоящее время при проектировании М уже учитывается ряд положений, касающихся оптимальной организации движений рук человека. К их числу относятся следующие положения:

- горизонтальные движения человека быстрее, чем вертикальные;
- непрерывные криволинейные движения совершаются быстрее одиночных движений с внезапным изменением направления;
- время, необходимое для начала движения и остановки, приблизительно прямо пропорционально нагрузке и не зависит от длины пути;
- максимальная скорость движения обратно пропорциональна нагрузке;
- величина развиваемых усилий обратно пропорциональна их продолжительности и частоте повторений;
- наименее утомительными являются те движения, в которых участвуют предплечье, кисть и пальцы рук.

Движение всей руки до плеча целесообразно использовать при непродолжительном рабочем цикле (1-2 мин.) с обязательными короткими паузами для отдыха.

Для обеспечения естественности работы оператора кинематическую и динамические схемы органов управления М следует проектировать по аналогам с соответствующими схемами рук от кисти до локтевого сустава включительно.

При этом стремятся к тому, чтобы большинство действий выполнялось кистью оператора, а условия перемещения, скорости, ускорения и силы по всем степеням свободы органов управления М соответствовали параметрам руки человека.

В большинстве работ, например [2], рассматривающих параметры, характеризующие зоны доступности оператора и подвижность суставов рук они оцениваются максимальными амплитудными значениями. Этого недостаточно, потому что при рабочих движениях руки эти амплитудные значения зачастую недостижимы из-за взаимосвязи между предельными положениями по степени свободы плечевого и лучезапястного суставов. Поэтому аналитической оценке этих свойств должно предшествовать экспериментальное определение подвижности в различных суставах как функции углов относительного расположения звеньев, образующих эти суставы.

Положение о необходимости оптимального согласования двигательных характеристик оператора и М не вызывают сомнения. Система управления должна достаточно быстро обрабатывать команды оператора. В противном случае он будет испытывать дополнительное стеснение привычных движений и повышенную утомляемость. Как показывают опыты [3] в вялой сервосистеме при скорости движения 0,5 м/сек у оператора возникает ощущение будто руки М перемещаются не в воздухе, а в патоке, и очень быстро наступает утомление.

Когда система «свободно» пропускает различные скорости движения, это ощущение исчезает, сохраняется естественный ритм движений оператора и утомляемость наступает значительно позднее. Однако, практически трудно определить какова степень данного соответствия в той или иной конструкции, насколько эффективно построена система управления. Как правило ограничиваются субъективными оценками, выносимыми оператором или группой операторов: «легко», «трудно», «удобно», «неудобно» и т.п. Необходимы объективные критерии и методики количественных оценок управляемости M , квалификации оператора, точности и производительности его работы.

Предлагается оценивать кинематические свойства M коэффициентом сервиса. Для каждой точки рабочего пространства M определяется телесный угол, внутри которого захватное устройство можно подвести к данной точке. Отношение величины этого угла к полному телесному углу названо коэффициентом сервиса в данной точке. Качество M оценивается средней величиной коэффициента сервиса по всему рабочему пространству и характеризует его функциональные возможности. Для оценки функциональных возможностей руки человека применяется понятие, соответствующее понятию коэффициент сервиса. При этом рука оператора рассматривается как, замкнутый пространственный четырехзвенник, включающий плечо, предплечье и звено кисть-рукоять, принимаемое за ведущее. Поворачивая это звено вокруг неподвижной точки пространства, определяют углы взаимного расположения звеньев. Сравнивая их значения с ограничениями на подвижность суставов, получаем количественную характеристику возможностей руки.

Экспериментальный анализ показал, что использования для оценки ручного управления только точностных показателей недостаточно, так как они не характеризуют производительность и не определяют длительность его действий. Необходим комплексный показатель, который, наряду с пространственными, учитывает и временные факторы реализации двигательных функций оператора.

Чрезвычайно важным является анализ процесса работы оператора совместно с системой управления. В ходе его выявлен ряд основных закономерностей:

- система управления действиями руки оператора является комбинированной, в ней есть разомкнутые и замкнутые связи;
- оператор действует как звено, стремящееся создать соответствие между входной величиной и тем, что оператор считает необходимым сделать на выходе;
- передаточная функция оператора зависит от динамики системы управления, с которой он работает;

— оператор гибко приспособливает свою передаточную функцию к передаточной функции управляемой системы и действует в направлении стабилизации и оптимизации всей системы управления;

— оператор является существенно нелинейным звеном дискретного действия.

Заключение. Функционирование оператора в режиме управления М, наряду с перечисленными общими чертами имеет и специфические закономерности. Алгоритмы ручного управления содержат ряд особенностей, зависящих от типа системы управления, свойств объекта управления, характеристик выполняемого задания и свойств оператора.

Анализ функционирования оператора имеет большое прикладное значение для разработки и проектирования дистанционно-управляемых манипуляторов.

Библиографический список

1. Юревич Е.И. Основы робототехники -СПб.: БХВ-Петербург, 2017. – 302.
2. Кулешев В., Лакота Н.А. Динамика систем управления манипуляторами. -М.: Энергия, 1971.-304 с.
3. Кобринский А.Е., Слуцкий Л.И. К параметрической оптимизации систем ручного управления машинами. В сб. «Роботы-манипуляторы для автоматизации ручных и вспомогательных работ», Л.: 1972. С.79-83.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Евгений Николаевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	vlasov-en@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены основные инженерно-психологические проблемы создания задающих органов управления манипуляторами.

Ключевые слова: оператор, манипулятор, управление.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.57.00

Особенности и требования к задающим органам управления манипуляторами

Власов Е.Н.

Введение

Органы управления манипуляторов (М) могут иметь различное конструктивное решение: кнопки и тумблеры, рукоятки или рычаги и более

сложные устройства, представляющие собой аналоги исполнительных органов [1]. В двух последних случаях обычно предусматривается однозначное соответствие между расположением кисти руки оператора и схватом М. Используются они в копирующих М.

В М с кнопочным управлением перед оператором расположен пульт с кнопками или тумблерами выдачи команд типа «вперед», «назад», «стоп» по каждой степени подвижности исполнительного органа. Оператор, наблюдая за работой М, осуществляет перемещения звеньев исполнительного органа подачей команд определенной длительности. Несмотря на внешнюю простоту и универсальность кнопочная система имеет ряд ограничений. Во-первых, быстрота и точность движений при такой системе управления значительно ниже. Чем при системе копирования. Это, возможно, связано с тем, что кнопочная система вынуждает оператора разлагать выполняемые движения на отдельные элементы. Второе ограничение обусловлено тем, что кнопки не обладают свойством обратимости. Оператор не чувствует нагрузок, действующих на звенья М и не может дозировать величину сил, необходимых для преодоления этих нагрузок.

Управление М может также осуществляться с помощью рычагов или рукояток, перемещающихся в различных плоскостях. При этом оператор, воздействуя на рычаг или рукоятку, задает и дозирует движение по нескольким или всем степеням свободы М. Он строит движения самым естественным для человека способом. И не задумывается над тем, из каких элементарных перемещений и поворотов оно состоит.

В рукоятках *подвижного* типа управляющие сигналы формируются пропорционально или угловому или поступательному перемещению управляющей рукоятки относительно неподвижной декартовой системы координат.

В рукоятках *изометрического* типа управляющие сигналы вырабатываются за счет малых деформаций упругих элементов, которые создаются на управляющей рукоятке усилиями оператора.

В рукоятках *универсального* типа управляющие сигналы по некоторым степеням подвижности формируются пропорционально угловым и линейным перемещениям. А часть степеней подвижности – изометрические.

Подвижный тип конструктивного исполнения задающих органов управления (ЗОУ) имеет следующие достоинства:

- Возможность управления не только всеми степенями подвижности одновременно, но и по каждой в отдельности;
- Возможность введения обратной связи как по усилиям, так и по положению;
- Малая вероятность ошибок при управлении.

Главным их недостатком является относительно большие габариты и вес.

К основным достоинствам ЗОУ изометрического типа следует отнести малые габариты и вес при создании шестистепенного ЗОУ, а также возможность интегрального управления всеми степенями подвижности М.

К недостаткам изометрических ЗОУ нужно отнести высокую чувствительность и точность изготовления их элементов. Трение в подшипниках скольжения и остаточные деформации упругих элементов создают нелинейность характеристик рукоятки.

Принципиальным недостатком изометрических ЗОУ является сильное взаимовлияние между степенями подвижности. Которое выражается в невозможности осуществлять движение схвата М в направлении какой-либо одной оси координат. Без нежелательных малых перемещений по другим.

Многих перечисленных недостатков, присущих подвижным и изометрическим ЗОУ, можно избежать при проектировании универсальных ЗОУ. Они позволяют частично избавиться от перекрестных связей, характерных для изометрических ЗОУ, при этом количество степеней подвижности не уменьшится. При удачной конструктивной компоновке можно добиться более естественного управления.

Специфика М состоит в том, что он имеет большое число степеней подвижности. Поскольку свободное твердое тело (объект манипулирования или рабочий инструмент) имеет шесть степеней свободы, столько же степеней подвижности должно иметь ЗОУ.

Правда, здесь возможен компромисс. При помощи двух трехстепенных рукояток оператор может сформировать совокупность шести управляющих сигналов, необходимых для задания движения схвата М. Например, позиционное управление можно обеспечить с помощью трехстепенной рукоятки поступательного типа для управления перемещением схвата в рабочей зоне и трехступенчатой рукоятки вращательного типа – для его ориентации. Возможны и различные сочетания способов управления, например, управление поступательным перемещением по вектору скорости, в вращательном – по положению. Однако разделение управления на две отдельные рукоятки делает его менее естественным для оператора. Кроме того, суммарный объем, занимаемый двумя рукоятками управления, может быть значительным. А использование обеих рук оператора для управления одним М может быть не всегда возможно. В тех случаях, когда оператору необходимо управлять двумя М или выполнить какую-либо другую работу одновременно с управлением одним М, целесообразно использовать ЗОУ с шестью степенями подвижности.

Особое место среди возможных вариантов органов управления занимают биоэлектрическое управление (БЭУ) от поверхностных потенциалов мышц

человека. Первая попытка создания биоэлектрического манипулятора принадлежит советским исследователям. В 1957 году был построен макет биоэлектрической системы управления, оформленный в виде искусственной кисти руки, управляемой биотоками мышц, сгибающих и разгибающих пальцы [2]. Биотоки отводились с помощью поверхностных электродов, размещенных в специальном браслете, который закреплялся на предплечье оператора.

Биоэлектрическое управление М имеет следующие преимущества по сравнению с управлением в коде движений:

- БЭУ по сравнению с ручным управлением повышенным (на 40-60 мл/сек) быстродействием;
- имеется возможность использовать для управления мышцы, мало участвующие в основных движениях, например, мышцы лица, мышцы живота, спины и д.р.;
- повышается надежность управления за счет использования биоэлектрической системы в качестве дублирующей;
- облегчаются естественные движения оператора за счет создания сервосистем, управляемых биопотенциалами;
- использование управления по типу «биоэлектрического образа» позволяет создать системы одновременного и независимого управления большим числом устройств;
- выработанные в нормальных условиях навыки биоэлектрического управления механизмами не нарушаются в усложненных условиях;
- имеется возможность подключения биоэлектрической стимуляции, позволяющей произвольно или по определенной программе управлять отдельными движениями или целым комплексом движений оператора;
- использовать биопотенциалов в диагностических целях позволяет оценивать и следить за функциональным состоянием оператора.

Особенности конструирования ЗОУ зависят от задач, которые должен выполнять М. Установлено, что наибольшая точность работы оператора имеет место в копирующих М. Здесь обеспечено соответствие кинематических схем ЗОУ и М, т.е. исполнительные органы полностью повторяют (копируют) движения рук оператора.

Оператор управляет М, наблюдая непосредственно или с помощью камер устройств за его движениями. Таким путем осуществляется обратная связь по перемещению в пространстве. Оператор непрерывно сравнивает наблюдаемые положения и скорости «рук» с желаемыми и вносит коррекцию, устраняя возникающие рассогласования. Однако часто такой визуальной обратной связи по перемещению, оказывается недостаточно, и систему управления необходимо дополнить обратной связью по усилиям. Манипулятор очувствляют, т.е.

придают ему способность полностью или частично «отражать» на руку оператора усилия, возникающие и изменяющиеся в процессе манипулирования. Именно такие системы управления, называемые системами с отражением усилий, обеспечивают наибольшую естественность и эффективность работы оператора.

При решении этих задач необходимо знать возможности использования различных анализаторов человека для очувствления М. Усилие свата может быть преобразовано в зрительные или слуховые сигналы. Однако обычно зрение и слух оператора лучше всего использовать по прямому назначению, не перегружая их необходимостью воспринимать и перерабатывать дополнительную информацию. Считается, что весьма перспективным является создание систем очувствления, адресованных к каждому анализатору. Это утверждение основано на данных физиологов о высокой чувствительности кожи к местной вибрации или электрическому раздражению. Последнее при низкой интенсивности воспринимается также как вибрационное раздражение.

Высокоорганизованная система очувствления М позволяет оператору действовать механическими руками как своими собственными и ощущать их действия так, как он ощущает действия своих рук. В таком случае М будет копировать не столько движения руки оператора. Сколько его мысленные программы движения.

Для управления М необходимы ЗОУ, удовлетворяющие следующим требованиям:

- иметь шесть каналов управления, так как свободное твердое тело (объект манипулирования) иметь шесть степеней свободы;
- обеспечивать раздельное и интегральное управление М по всем его степеням подвижности для сокращения времени выполнения и повышения производительности труда;
- не иметь перекрестных помех между каналами управления ЗОУ, приводящих к быстрой утомляемости оператора и снижению точности позиционирования схвата М;
- управляться одной рукой оператора, т.к. при управлении двумя руками наблюдается значительно снижение производительности труда оператора;
- обеспечивать скоординированную работу двух М, управляемых одним оператором;
- обеспечивать совместно с системой управления плавные естественные движения М, снижающие количество ошибок, допускаемых оператором и время его обучения;
- обеспечивать пространственное соответствие положения и ориентации М и ЗОУ;

- все движения ЗОУ должны выполняться в динамическом диапазоне движений оператора;
- обеспечивать заданную точность управления М;
- иметь оптимальные весогабаритные показатели.

Библиографический список

4. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами: Учебник для вузов. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2004. -480 с.
5. Кобринский А.Е. Вот они – роботы. - М.: Наука, 1972.-176 с.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Евгений Николаевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	vlasov-en@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены различные типы выполнения задающих органов управления манипуляторами. Приведены их достоинства и недостатки. Перечислены основные требования к принципам создания задающих органов управления манипуляторов.

Ключевые слова: манипулятор, оператор, система управления, задающие органы управления.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.57.00

Анализ движущих моментов манипулятора с помощью принципа возможных перемещений

Власов Е.Н., Волков А.Ф.

Введение

Эффективность применения методов аналитической механики в практических инженерных расчетах по сравнению с общими теоремами динамики заключается в том, что при составлении дифференциальных уравнений движения механической системы не требуется ввода реакция идеальных связей.

В качестве объекта исследования выбран плоский двухзвенный ангулярный манипулятор. По заданным законам движения звеньев манипулятора

определяются движущие моменты силовых приводов, расположенных в его сочленениях.

Актуальность задачи заключается в том, что анализ движущих моментов является основным этапом при выборе двигателей, способных обеспечить выполнение манипулятором заданных рабочих процессов.

Механическая система манипулятора состоит из стрелы – звена OA длиной d и рукояти – звено AB длиной b (рис. 1). Все звенья считаются невесомыми абсолютно твердыми стержнями. Рабочий орган, представленный в виде материальной точки B, силой тяжести G , жестко связан с звеном AB.

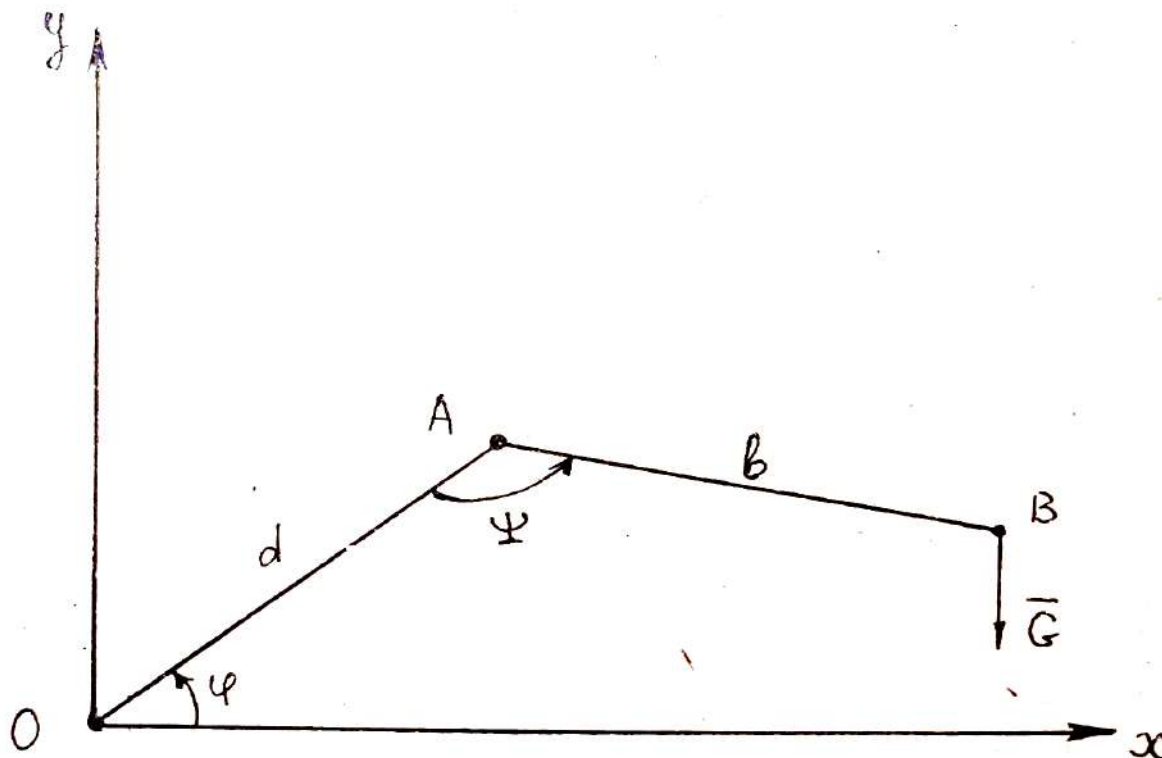


Рисунок 1. Механическая система манипулятора

Звенья и рабочий орган совершают движение в координатной плоскости OXY, совпадающей с плоскостью чертежа. Положительные направления отсчета углов φ и ψ , являющихся обобщенными координатами манипулятора, указаны на рис. 1. Задана начальная конфигурация манипулятора, т.е. значения обобщенных координат φ_0 и ψ_0 . Известны зависимости изменения во времени обобщенных скоростей $\dot{\varphi}$ и $\dot{\psi}$.

Если в некотором положении механической системы с двухсторонними идеальными связями приложенные к ней силы \vec{F}_n то на любом возможном перемещении $\delta \vec{r}_k$ системы из этого положения сумма работ задаваемых сил равна нулю [1], т.е.:

$$\sum_{k=1}^n \vec{F}_k \delta \vec{r}_k = 0, k= 1,2, \dots, n \quad (1)$$

Рассматриваемый манипулятор полностью удовлетворяет условия приведенного принципа возможных перемещений. Как видно на рис. 1, к манипулятору приложены два управляющих момента M_{OZ}^Y (момент стрелы), M_{AZ}^Y (момент рукояти) и сила тяжести переносимого груза \vec{G} . Для нахождения указанных управляющих моментов сообщим манипулятору такое возможное перемещение, при котором угол φ остается без изменений, а угол ψ получит приращение $\delta\psi$ (рис. 2), т.е. $\delta\psi \neq 0, \delta\varphi = 0$:

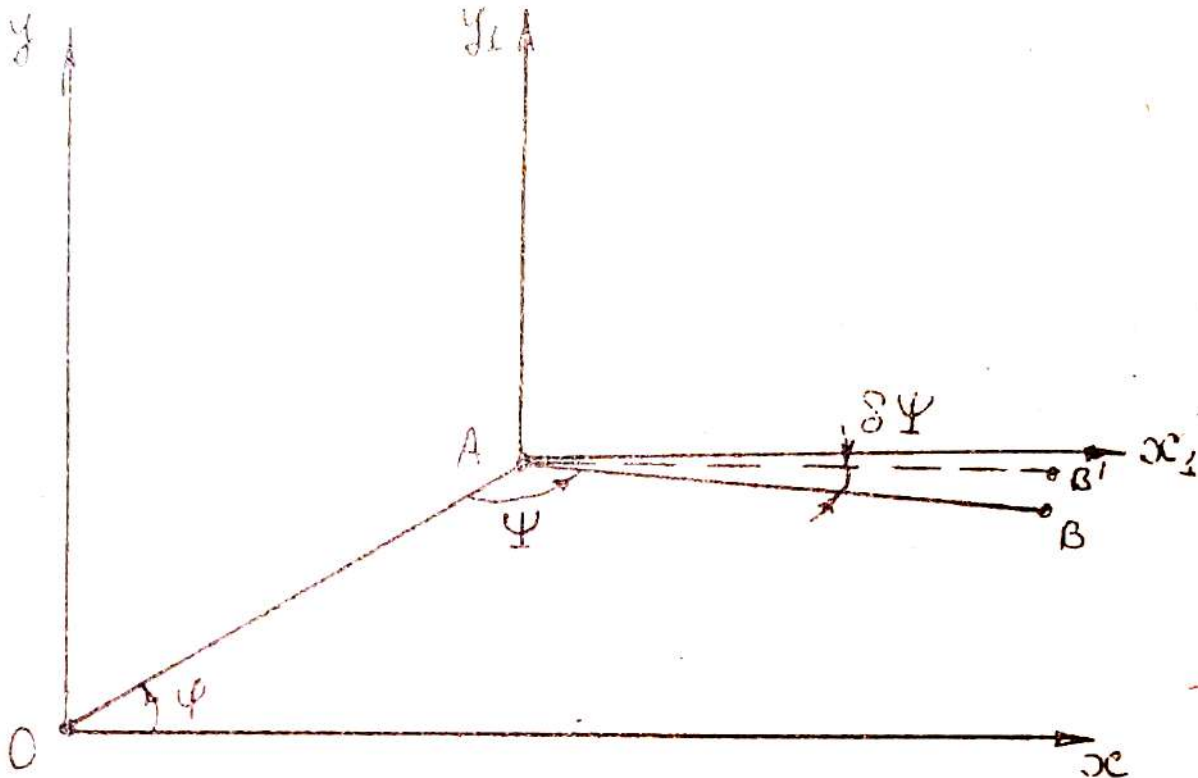


Рисунок 2. Схема управляющих моментов

Для этого перемещения уравнение дает следующее выражение:

$$M_{AZ}^Y \delta\psi + M_{AZ}^G \delta\psi = 0 \quad (2)$$

Момент силы тяжести груза относительно шарнира A:

$$\vec{M}_{FZ}^G = \vec{r}_{AB} \cdot \vec{G} = \begin{vmatrix} \bar{l}_1 & \bar{J}_1 & \bar{k}_1 \\ x_{1B} & y_{1B} & z_{1B} \\ G_{X1} & G_{Y1} & G_{Z1} \end{vmatrix}$$

где: $G_{X1} = G_{Z1} = 0, G_{Y1} = -G,$ (3)

$$x_{1B} = -l_2 \cos(\varphi + \psi) \quad y_{1B} = -l_2 \sin(\varphi + \psi) \quad z_{1B} = 0$$

Следовательно:

$$M_{AZ}^G = (G_{Y1} x_{1B} - G_{X1} y_{1B}) = Gl_2 \cos(\varphi + \psi) \quad (4)$$

В результате получаем выражение управляющего момента в виде:

$$M_{AZ}^Y = -Gl_2 \cos(\varphi + \psi) \quad (5)$$

Перейдем к вычислению управляющего момента M_{OZ}^Y . Для этого дадим системе возможное перемещение $\delta\psi = 0, \delta\phi \neq 0$ (рис. 3).

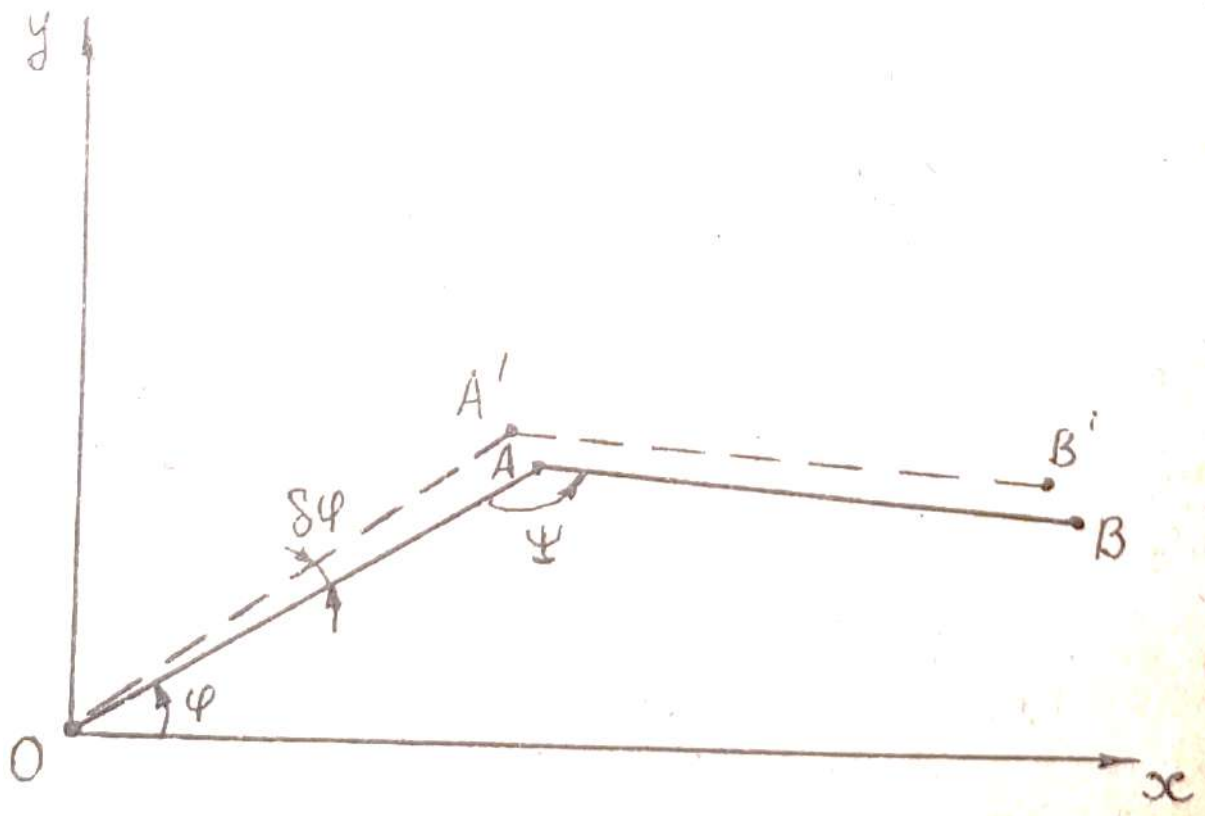


Рисунок 3. Схема возможного перемещения

Уравнение (1) в этом случае сводится к выражению:

$$M_{OZ}^Y \delta\phi + M_{OZ}^G \delta\phi = 0 \quad (6)$$

Момент силы тяжести относительно шарнира O:

$$\bar{M}_O^G = \bar{r}_{OB} \cdot \bar{G} = \begin{vmatrix} \bar{i}_1 & \bar{j}_1 & \bar{k}_1 \\ x_B & y_B & z_B \\ G_x & G_y & G_z \end{vmatrix}$$

$$G_x = G_z = 0$$

$$G_y = -G$$

$$x_B = l_1 \cos \varphi - l_2 \cos(\varphi + \psi) \quad y_B = l_1 \sin \varphi - l_2 \sin(\varphi + \psi) \quad z_B = 0 \quad (7)$$

Следовательно: $M_{OZ}^G = -G[l_1 \cos \varphi - l_2 \cos(\varphi + \psi)] \quad (8)$

В результате получаем выражение управляющего момента в виде:

$$M_{OZ}^Y = -G[l_1 \cos \varphi - l_2 \cos(\varphi + \psi)] \quad (9)$$

Библиографический список

1. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. -824 с.

Сведения об авторах

ФИО

Власов Евгений Николаевич

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

ФИО Волков А.Ф.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail volcharsonzz@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен анализ движущих моментов двухзвенного ангулярного манипулятора с помощью принципа возможных перемещений. Определены значения движущих моментов. Полученные выражения могут быть использованы на этапах проектирования и программирования рабочих движений манипулятора.

Ключевые слова: двухзвенный ангулярный манипулятор, принцип возможных перемещений.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.57.00

Математическая модель многосвязной системы управления манипуляторами

Власов Е.Н.

Введение

Манипулятор (М) представляет собой многосвязный объект управления и заключение о его динамической точности можно сделать только в результате исследования взаимовлияния степеней подвижности. Уравнения состояния многомерной системы управления М имеют вид:

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = f[X(t), U(t)] \\ Y_1(t) = g\{X(t)\} \end{cases} \quad (1)$$

где $X(t)$ – вектор состояния (матрица-столбец порядка $m \times 1$); $U(t)$ – вектор управления (матрица-столбец $n \times 1$); $Y_1(t)$ – выходной вектор размера 3×1 .

Функции f и g в общем случае выражают нелинейные зависимости. В дальнейшем под переменными состояниями будем понимать фазовые переменные систем управления, однозначно определяющими состояние M .

Так как зависимость $Y_1(t)$ от $X(t)$ представляет собой алгебраическое уравнение, то на динамику системы функция $g[X(t)]$ не влияет.

Сначала рассмотрим следящие системы как линейные. Линейная модель позволит сосредоточить внимание на перекрестных каналах взаимовлияния, зная которые, можно затем уточнить поведение автономных каналов с учетом существующих нелинейностей.

С другой стороны, задачей следящих систем степеней подвижности является ограничение амплитудных значений отклонения реальных координат M от их заданных значений и ограничение длительности ликвидации этих отклонений. Поэтому рассмотрение линейной модели не противоречит задаче проектирования, так как, чем «лучше» система управления, тем меньше она допускает отклонение и тем скорее их ликвидирует.

Таким образом (1) можно теперь записать в виде:

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = AX(t) + BU(t) \\ Y_1(t) = CX(t) \end{cases} \quad (2)$$

Так как переменными состояниями являются фазовые переменные [1], то они однозначно описывают поведение каждой из подсистем степеней подвижности. Второе уравнение отражает тот факт, что нас интересует положение рабочего органа M в пространстве состояний M и является преобразованием n – мерного углового пространства степеней подвижности в декартовы координаты положения рабочего органа.

Матрица A имеет блочно-диагональный вид. Это соответствует тому, что между регуляторами следящих систем степеней подвижности отсутствуют прямые перекрестные каналы и отсутствуют взаимовлияния через каналы передачи движения от следящих систем к M . Последнее соответствует M , у которых исполнительные двигатели установлены в шарнирах степеней подвижности или близко к ним. Для исследования многосвязности систем управления M к уравнениям (1) надо добавить уравнения, описывающие объект управления:

$$A\ddot{q} + \sum_{s=1}^m (\dot{q}^T D_s \dot{q}) e_s = Q \quad (3)$$

где Q – вектор обобщенных сил; m – число обобщенных координат; e_s – m -мерный орт с s -той единичной составляющей; q – вектор обобщенных координат; D_s – матрица размера $m \times m$, элементами которой являются символы

Кристоффеля I-го рода [1]; $d_{l,t}^s = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial a_{ls}}{\partial q_t} + \frac{\partial a_{ts}}{\partial q_l} + \frac{\partial q_{lt}}{\partial q_s} \right)$, $l, t = 1, 2, \dots, m$; a_{ij} – элементы матрицы А.

Основными характеристиками М при таком описании являются переменный момент инерции и переменный статический момент нагрузки. Переменный момент инерции приводит к тому, что система становится нестационарной, то есть коэффициенты a_{ij} . b_{ij} матриц А и В являются функциями обобщенных координат, которые являются функциями времени. Тогда уравнения (2) можно записать:

$$\begin{cases} \dot{X}(t) = A(t)X(t) + B(t)U(t) \\ Y_1(t) = C(t)X(t) \end{cases} \quad (4)$$

Переменный статический момент нагрузки для системы управления представляет возмущающее воздействие.

Уравнения состояния канала возмущения запишутся в виде:

$$\begin{cases} \dot{Z}(t) = D(t)Z(t) + L(t)M_H(t) \\ Y_2(t) = C(t)Z(t) \end{cases} \quad (5)$$

где $Z(t)$ r -мерный вектор состояния канала возмущений; $Y_2(t)$ – выходной вектор размерности 3×1 канала возмущения; $M_H(t)$ – переменный статический момент нагрузки (матрица-столбец размерности $n \times 1$; n – количество степеней подвижности манипулятора).

Матрицы $D(t)$ и $L(t)$ имеют элементы, зависящие от времени, что обусловлено переменным моментом инерции М.

Тогда система управления М совместно с объектом управления описывается следующими уравнениями:

$$\begin{aligned} \dot{X}(t) &= A(t)X(t) + B(t)U(t) + L(t)M_H(t) \\ X_S(t) &= X_n(t) + X_f(t) \\ Y(t) &= C(t)X_S(t) \\ M_H(t) &= F_2[X_S(t)] \\ J_H(t) &= F_1[X_S(t)] \end{aligned} \quad (6)$$

где $\dot{X}(t)$ – матрица-столбец размерности $m \times 1$, ($m = \sum_i^n r_i + \sum_i^n k_i$); k_i – порядок дифференциального уравнения относительно M_H ; $A(t)$ – матрица размерности $n \times n$, имеет блочно-диагональный вид, каждый диагональный блок которой состоит из подматриц, соответствующих дифференциальным уравнениям системы управления по управлению и возмущению, все недиагональные блоки равны нулю, а переменные блоков матриц являются функциями $J_H(t)$; $B(t)$ – матрица-столбец, $n \times 1$; $L(t)$ – матрица-столбец размерности $n \times k$;

$X_n(t)$ – матрица-столбец выходов системы по управлению; $X_f(t)$ – матрица-столбец выходов системы по возмущению; $X_s(t)$ – матрица-столбец суммарного выхода системы управления; $Y(t)$ – трехмерный вектор-столбец декартовых координат рабочего органа; $C(t)$ – матрица размерности $3 \times n$ преобразования n -мерного углового пространства M в декартовое пространство координат рабочего органа; F_2 и F_1 – матрицы функций, определяемые по (3).

Полученные уравнения в форме переменных состояния являются универсальной математической моделью M , так как на их вид не влияет его число степеней подвижности и порядок дифференциальных уравнений, описывающих отдельные следящие системы.

Библиографический список

1. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. -824 с.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Евгений Николаевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	vlasov-en@mail.ru

Аннотация

В статье представлена методика построения математической модели многосвязной системы управления манипуляторами для исследования ее динамической точности.

Ключевые слова: манипулятор, момент нагрузки, система управления, рабочий орган.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.57.00

Исследование статических нагрузок манипулятора лесной машины

Власов Е.Н., Андреев С.В.

Введение

В качестве объекта исследования выбран манипулятор лесозаготовительной машины, представляющий собой трехзвенную кинематическую цепь.

Механическая система манипулятора лесозаготовительной машины, представляет собой трехзвенную кинематическую цепь с закрепленным на базе машины основанием (рис. 1).

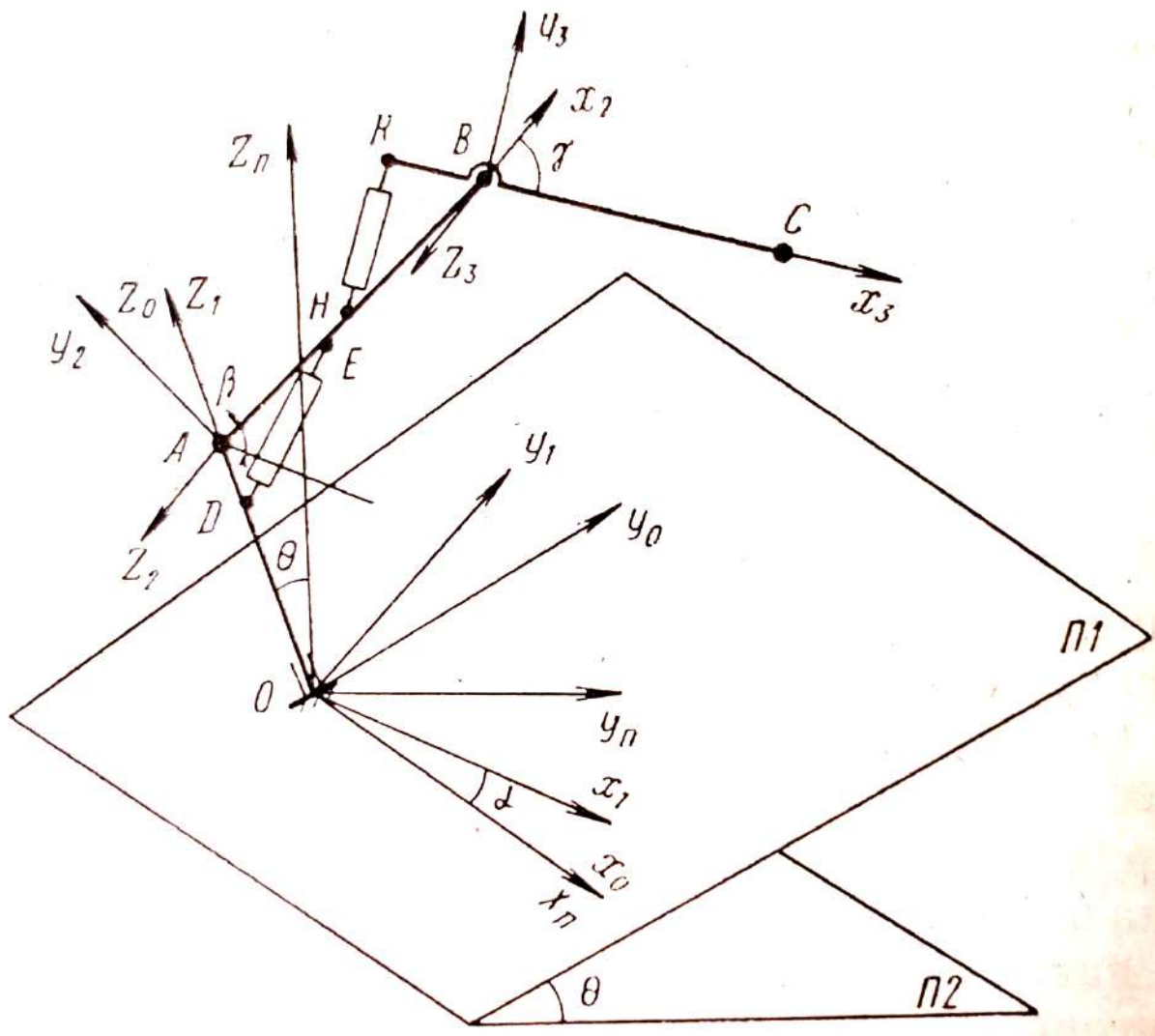


Рисунок 1. Механическая система манипулятора

Звено OA связано с основанием при помощи подпятника, а в остальных местах связей звеньев и гидроцилиндров (точки A, B, D, E, H, K) установлены цилиндрические шарниры.

Звенья OA, AB, BC – абсолютно твердые однородные стержни, силы тяжести которых соответственно $\vec{G}_1, \vec{G}_2, \vec{G}_3$. Сила тяжести рабочего органа, представленного в виде материальной точки (точки C), равна \vec{Q} . Заданы длины звеньев OA, AB, BC , соответственно l_1, l_2, l_3 , а также длины отрезков AD, AE, BH и BK , равные соответственно a_1, b_1, a_2, b_2 .

Звенья AB и BC приводятся в движение гидроцилиндрами I и II, силами тяжести которых пренебрегаем. Звено OA приводится в движение гидромотором.

Приняты следующие системы координат: система координат $Bx_3y_3z_3$ жестко связана с рукоятью BC , ось Bx_3 направлена вдоль рукояти, ось Bz_3 совпадает с осью цилиндрического шарнира B (рис. 1); система координат $Ax_2y_2z_2$ жестко связана с стрелой AB , ось Ax_2 направлена вдоль стрелы, ось Az_2 совпадает с осью

цилиндрического шарнира А; система координат $Ox_1y_1z_1$ жестко связана с поворотной колонной ОА. Координатная плоскость Ox_1z_1 совпадает с плоскостью манипулятора, т.е. с плоскостью ОАВС. Система координат $Ox_0y_0z_0$ жестко связана с базой машины, ось Ox_0 направлена в противоположную сторону движения машины.

Конфигурация манипулятора однозначно определена тремя углами α, β, γ , где α – угол между осями Ox_1 и Ox_0 ; β – угол между осями Ax_2 и Ox_1 ; γ – угол между осями Bx_3 и Ax_2 . Условие работы машины на склоне задано углом θ . Значение сил тяжести, длин и углов приведены в таблице.

Определим реакции в шарнирах А и В, в подпятнике О, а также усилия на штоках гидроцилиндров при условии, что звенья манипулятора находятся в вертикальной плоскости ($\theta = 0, \alpha \neq 0, \beta \neq 0, \gamma \neq 0$).

Для определения реакций в шарнире В и усилия на штоке гидроцилиндра II рассмотрим равновесие звена КВС (рис. 2)

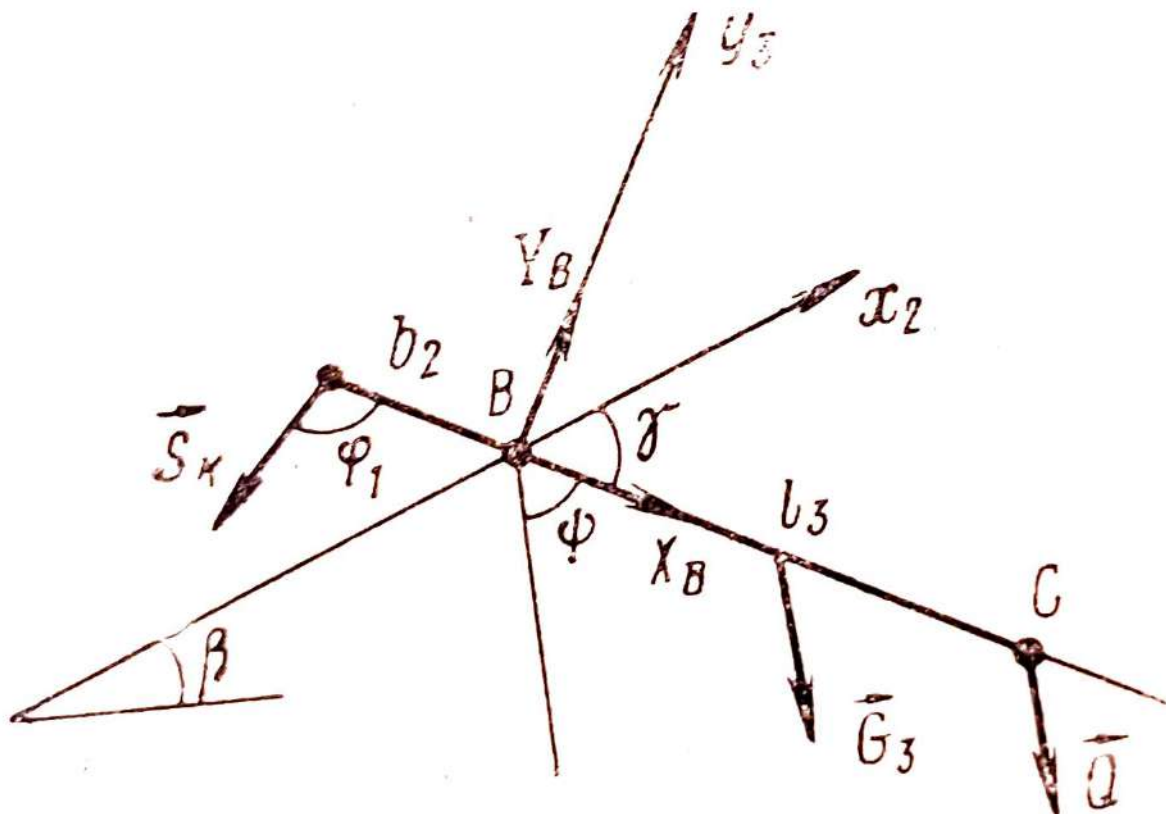


Рисунок 2. Схема равновесия звена КВС

Звено находится под действием двух активных сил: силы тяжести звена \vec{G}_3 , приложенной в его середине, и силы тяжести рабочего органа Q, приложенного в точке С.

На звено наложено две связи, шарнир В и гидроцилиндр II. В силу того, что силами тяжести гидроцилиндров пренебрегаем, принимаем гидроцилиндры за невесомые абсолютно твердые стержни. Освободимся от связей, заменив их

действия соответствующими реакциями связей, заменив их действия реакциями связей X_B , Y_B и \vec{S}_K (рис. 2).

Теперь звено ЛВС можно рассматривать как свободное твердое тело, находящееся в равновесии под действием активных сил \vec{G}_3 и \vec{Q} и трех неизвестных реакций связей X_B , Y_B и \vec{S}_K . Все силы расположены в плоскости x_3y_3 .

Запишем в общем виде необходимые и достаточные условия равновесия твердого тела под действием произвольной плоской системы сил:

$$\sum_{k=1}^n F_{kx} = 0, \quad \sum_{k=1}^n F_{ky} = 0, \quad \sum_{k=1}^n M_0(\vec{F}_k) = 0, \quad (1)$$

Таким образом, имеем три уравнения равновесия сил и три неизвестные реакции связей. Следовательно, задача статически определенная.

Составим уравнения равновесия звена КВС в проекциях на оси Vx_3 и Vy_3 и уравнение моментов относительно точки В. Выбор точки В удобен тем, что моменты двух неизвестных по величине сил X_B , Y_B относительно этой точки равны нулю и в уравнение моментов войдет лишь одна неизвестная \vec{S}_K . Уравнений равновесия имеют вид:

$$\begin{aligned} \sum_{k=1}^n F_{kx3} &= X_B + G_3 \cos \psi + Q \cos \psi + S_K \cos \phi_1 = 0, \\ \sum_{k=1}^n F_{ky3} &= Y_B - G_3 \sin \psi - Q \sin \psi - S_K \sin \phi_1 = 0, \\ \sum_{k=1}^n M_B(\vec{F}_k) &= S_K b_2 \sin \phi_1 - \frac{Gl_3 \sin \psi}{2} - Ql_3 \sin \psi = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

где $\psi = 90^\circ + \beta - \gamma$ – угол между векторами сил тяжести и осью Vx_3 ; ϕ_1 – угол между вектором силы \vec{S}_K и осью Vx_3 . Значение угла ϕ_1 найдем по теореме синусов $\frac{\sin \gamma}{HK} = \frac{\sin \phi_1}{a_2}$, где длину отрезка НК находим по теореме косинусов, т.е.

$$HK = \sqrt{a_2^2 + b_2^2 - 2a_2b_2 \cos \gamma}. \quad \text{Таким образом, } \sin \phi_1 = \frac{a_2 \sin \gamma}{\sqrt{a_2^2 + b_2^2 - 2a_2b_2 \cos \gamma}}.$$

Решив уравнения (2), определим значения искомых реакций X_B , Y_B , \vec{S}_K .

Для определения реакций в шарнире А и в подпятнике О, а также усилия на штоке гидроцилиндра I, рассмотрим равновесие системы двух твердых тел – звена ОА и звена АВ. При этом следует учесть, что реакции в шарнире В и усилия на штоке гидроцилиндра II известны из предыдущего расчета.

Основным способом определения реакций связей твердых тел, является способ расчленения, при котором рассматривается равновесие отдельных тел, входящих в состав системы.

Рассмотри равновесие звеньев ОА и АВ, расчленив систему в шарнирах А, D, E. Звено АВ (рис. 3) находится под действием одной активной силы тяжести звена \vec{G}_2 , приложенной в его середине.

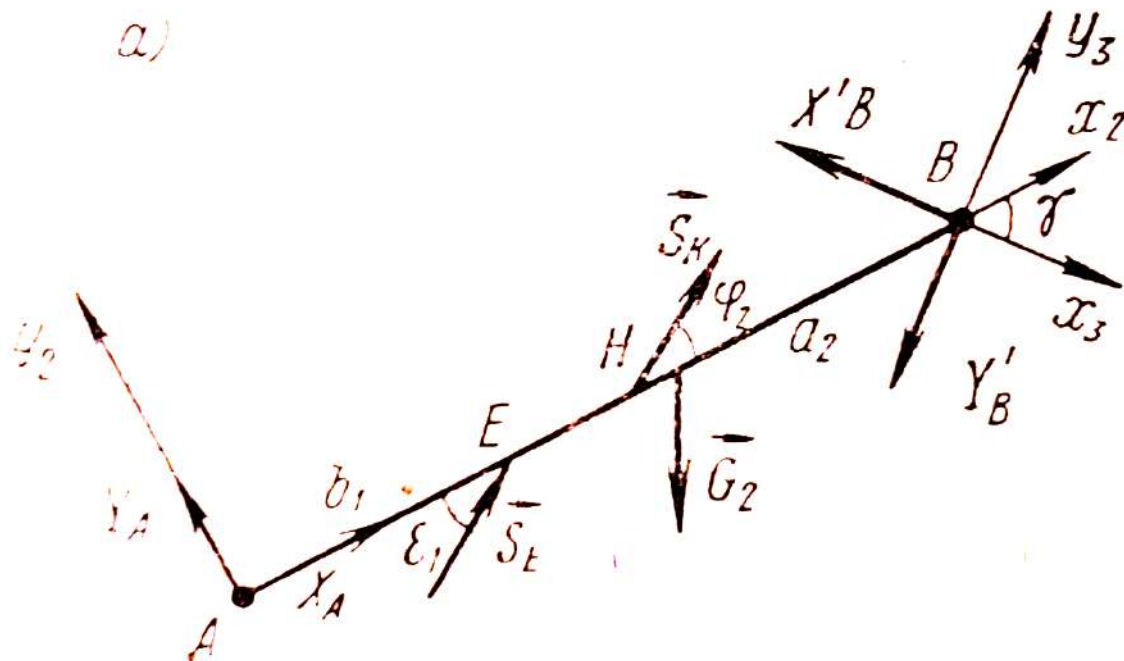


Рисунок 3. Схема под воздействием силы тяжести

На звено наложены четыре связи: шарниры А и В, а также гидроцилиндры I и II. Освободимся от связей, заменив их действия реакциями связей $X_A, Y_A, \vec{S}'_K, X'_B, Y'_B, \vec{S}'_E$ (рис. 3). Реакции \vec{S}'_K, X'_B, Y'_B , согласно закону равенства действия и противодействия (3-й закон Ньютона), равны по модулю и противоположно направлены соответственно реакциям X_B, Y_B, \vec{S}_K , приложенным к звену ВС. Теперь звено АВ можно рассматривать как свободное твердое тело, находящееся в равновесии под действием семи находящихся в плоскости x_2Ay_2 сил, величины трех из которых (\vec{S}'_K, X'_B, Y'_B) известны, т.е. $X'_B = X_B, Y'_B = Y_B, \vec{S}'_K = \vec{S}_K$. Здесь надо обратить особое внимание на содержание знаков реакций X_B, Y_B, S_K .

Согласно (1) имеем три уравнения равновесия. Следовательно, в данном случае, задача статически определенная. Составим уравнения равновесия звена АВ в проекциях на оси Ax_2 и Ay_2 и уравнение моментов относительно точки А. Уравнения равновесия имеют вид:

$$\sum_{k=1}^n F_{KX_2} = X_A + S_E \cos \varepsilon_1 + G \sin \beta + S'_K \cos \phi_2 - X'_B \cos \gamma - Y'_B \sin \gamma = 0,$$

$$\sum_{k=1}^n F_{KY_2} = Y_A + S_E \sin \varepsilon_1 - G \cos \beta + S'_K \sin \phi_2 + X'_B \sin \gamma - Y'_B \cos \gamma = 0,$$

$$\sum_{k=1}^n M_A(\vec{F}_k) = S_E b_1 \sin \varepsilon_1 - \frac{G_2 l_2}{2} \cos \beta + S'_K (l_2 - a_2) \sin \phi_2 + X'_B l_2 \sin \gamma - Y'_B l_2 \cos \gamma = 0,$$

где ε_1 – угол между вектором силы \vec{S}_E и осью Ax_2 ; $\phi_2 = 180^\circ - \gamma - \phi_1$ – угол между силой S_K и осью Ax_2 (рис. 3).

Решив уравнения (3), определим значения искомых реакций X_A , Y_A , \vec{S}_E . Теперь рассмотрим равновесие звена ОА. Звено ОА находится под действием одной активной силы – силы тяжести звена \vec{G}_1 , приложенной к его середине. На звено наложены три связи: шарнир А, подпятник О и гидроцилиндр I. Освободимся от связей, заменив их действие соответствующими реакциями связей X'_A , Y'_A , \vec{S}'_E , X_0 , Y_0 , M_0 (рис. 4).

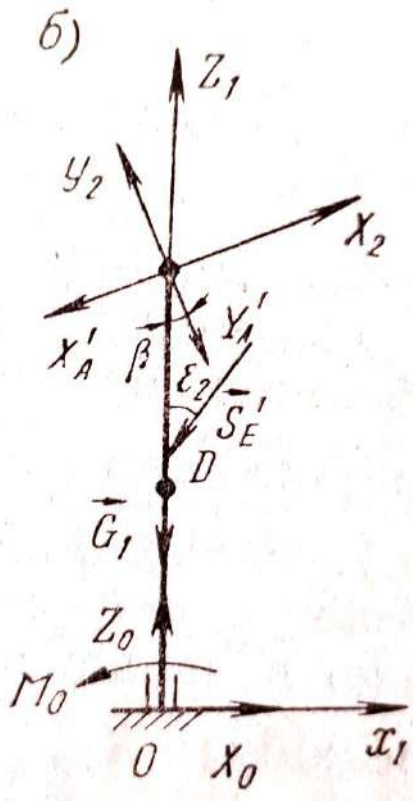


Рисунок 4. Схема равновесия звена ОА

Реакции X_A' , Y_A' , \vec{S}'_E , согласно закону равенства действия и противодействия (3-й закон Ньютона), равны по модулю и противоположно направлены соответственно реакциям X_A , Y_A , \vec{S}_E , приложенным к звену АВ, т.е. $X_A' = X_A$, $Y_A' = Y_A$, $\vec{S}'_E = \vec{S}_E$. После приложения всех сил звено Оа можно рассматривать как свободное твердое тело, находящееся в равновесии. Неизвестными здесь являются реакции в подпятнике О (X_0 , Y_0 , M_0).

Согласно (1), имеем три уравнения равновесия. Следовательно, в данном случае, задача статически определенная. Составим уравнения равновесия звена ОА в проекциях на оси Ox_1 и Oz_1 и уравнение моментов относительно точки О. Уравнения равновесия имеют вид:

$$\sum_{k=1}^n F_{kx_1} = X_0 - S'_E \sin \varepsilon_2 - X'_A \cos \beta + Y'_A \sin \beta = 0,$$

$$\sum_{k=1}^n F_{kz_1} = Z_0 - S'_E \cos \varepsilon_2 - X'_A \sin \beta - Y'_A \cos \beta - G_1 = 0, \quad (4)$$

$$\sum_{k=1}^n M_0(\vec{F}_k) = M_0 + S'_E(l_1 - a_1) \sin \varepsilon_2 + X'_A l_1 \cos \beta - Y'_A l_1 \sin \beta = 0,$$

где $\varepsilon_2 = 90^\circ - \beta - \varepsilon_1$ – угол между вектором силы \vec{S}'_E и осью Oz_1 .

Решив уравнения (4), определим значения реакций X_0 , Y_0 , M_0 .

Библиографический список

1. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. -824 с.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Евгений Николаевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Андреев Сергей 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	ser-a-97@hotmail.ru

Аннотация

Определяются реакция связей в шарнирах и подпятнике манипулятора и усилия на штоках гидроцилиндров при условии, что звенья манипулятора находятся в вертикальной плоскости. Полученные выражения могут быть использованы на этапах проектирования.

Ключевые слова: трехзвенный ангулярный манипулятор, реакции связей.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.57.00

Анализ движущих моментов манипулятора с помощью общего уравнения динамики

Власов Е.Н., Коростелев П.О.

Введение

Эффективность применения методов аналитической механики в практических инженерных расчетах по сравнению с общими теоремами динамики заключается в том, что при составлении дифференциальных уравнений движения механической системы не требуется ввода реакция идеальных связей.

В качестве объекта исследования выбран плоский двухзвенный ангулярный манипулятор. По заданным законам движения звеньев манипулятора определяются движущие моменты силовых приводов, расположенных в его сочленениях.

Актуальность задачи заключается в том, что анализ движущих моментов является основным этапом при выборе двигателей, способных обеспечить выполнение манипулятором заданных рабочих процессов.

Механическая система манипулятора состоит из стрелы – звена ОА длиной d и рукояти – звена АВ длиной b (рисунок). Все звенья считаются невесомыми абсолютно твердыми стержнями. Рабочий орган, представленный в виде материальной точки В, силой тяжести G , жестко связан с звеном АВ.

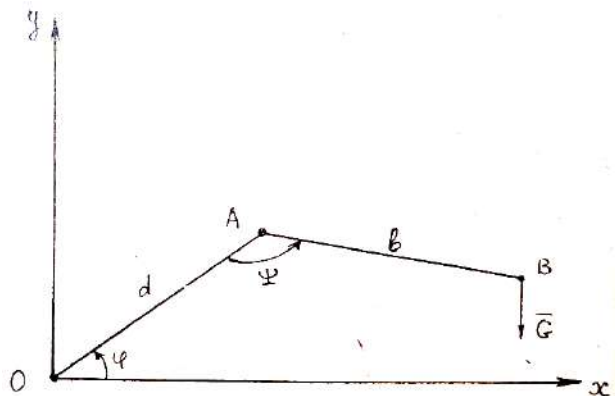


Рисунок. Механическая система манипулятора

Звенья и рабочий орган совершают движение в координатной плоскости ОХУ, совпадающей с плоскостью чертежа. Положительные направления отсчета углов ϕ и ψ , являющихся обобщенными координатами манипулятора, указаны на рисунке. Задана начальная конфигурация манипулятора, т.е. значения обобщенных координат ϕ_0 и ψ_0 . Известны зависимости изменения во времени обобщенных скоростей $\dot{\phi}$ и $\dot{\psi}$.

Уравнение, называемое общим уравнением динамики [1], показывает, что в любой момент времени сумма работ всех задаваемых сил \bar{P}_i и сил инерции $\bar{\Phi}_i$ материальных точек несвободной механической системы с двухсторонними идеальными связями на любом возможном ее перемещении $\delta\bar{S}_i$ равна нулю, т.е.:

$$\sum_{k=1}^n P_i \delta S_i \cos(\bar{P}_i, \delta\bar{S}_i) + \sum_{k=1}^n \Phi_i \delta S_i \cos(\bar{\Phi}_i, \delta\bar{S}_i) = 0 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

Применим общее уравнение динамики для отыскания управляющих моментов M_{OZ}^Y (момент стрелы), M_{AZ}^Y (момент рукояти). Присоединим к действующим на манипулятор силам и моментам силу инерции груза $\bar{\Phi}$. При этом сила инерции груза определяется равенством:

$$\bar{\Phi} = -\left(\frac{G}{g} W_x \bar{i} + \frac{G}{g} W_y \bar{j} + \frac{G}{g} W_z \bar{k}\right). \quad (2)$$

Здесь:

$$\begin{aligned} W_x &= -l_1(\ddot{\phi} \sin \phi + \dot{\phi}^2 \cos \phi) + l_2[(\ddot{\phi} + \ddot{\psi}) \sin(\phi + \psi) + (\dot{\phi} + \dot{\psi})^2 \cos(\phi + \psi)], \\ W_y &= l_1(\ddot{\phi} \cos \phi - \dot{\phi}^2 \sin \phi) - l_2[(\ddot{\phi} + \ddot{\psi}) \cos(\phi + \psi) - (\dot{\phi} + \dot{\psi})^2 \sin(\phi + \psi)], \\ W_z &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Выражения (3) получены дифференцированием выражений (4) по времени:

$$\begin{aligned} x_B &= l_1 \cos \phi - l_2 \cos(\phi + \psi) \\ y_B &= l_1 \sin \phi - l_2 \sin(\phi + \psi) \\ z_B &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

Сообщим системе возможное перемещение, такое, при котором $\delta\psi \neq 0$, $\delta\phi = 0$. Для этого перемещения уравнение (1) дает выражение:

$$M_{AZ}^Y \delta\psi + M_{AZ}^G \delta\psi + M_{AZ}^\Phi \delta\psi = 0, \quad (5)$$

где M_{AZ}^G определяется по формуле $M_{AZ}^G = (G_{Y1} x_{1B} - G_{X1} y_{1B}) = G l_2 \cos(\phi + \psi)$.

$$M_{AZ}^\Phi = \Phi_{Y1} x_{1B} - \Phi_{X1} y_{1B} \quad (6)$$

Здесь:

$$\Phi_{X1} = -\frac{G}{g}W_{X1}, \quad \Phi_{Y1} = -\frac{G}{g}W_{Y1},$$

Таким образом, из (5), учитывая (6) и

$$G_{X1} = G_{Z1} = 0 \quad G_{Y1} = -G \quad (7)$$

$$x_{1B} = -l_2 \cos(\phi + \psi) \quad y_{1B} = -l_2 \sin(\phi + \psi) \quad z_{1B} = 0$$

Получаем:

$$M_{AZ}^Y = -Gl_2 \cos(\phi + \psi) + \frac{G}{g}(x_{1B}W_{Y1} - y_{1B}W_{X1}). \quad (8)$$

Для определения M_{OZ}^Y сообщим системе возможное перемещение:

$$\delta\psi = 0 \quad \delta\phi \neq 0$$

Уравнение (1) в этом случае принимает вид

$$M_{OZ}^Y \delta\phi + M_{OZ}^G \delta\phi + M_{OZ}^\Phi \delta\phi = 0 \quad (9)$$

Здесь M_{OZ}^G определяется по:

$$M_{OZ}^G = -G[l_1 \cos \phi - l_2 \cos(\phi + \psi)] \quad M_{OZ}^\Phi = \Phi_Y x_B - \Phi_X y_B \quad (10)$$

$$\Phi_X = -\frac{G}{g}W_X, \quad \Phi_Y = -\frac{G}{g}W_Y,$$

Окончательно получаем выражение:

$$M_{OZ}^Y = G[l_1 \cos \phi - l_2 \cos(\phi + \psi)] + \frac{G}{g}(x_B W_Y - y_B W_X). \quad (11)$$

Библиографический список

1. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. -824 с.

Сведения об авторах

ФИО Власов Евгений Николаевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail vlasov-en@mail.ru

ФИО Коростелев Павел Олегович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код —

e-mail pavelkorostelev@mail.ru

Аннотация

Рассмотрен анализ движущих моментов двухзвенного ангулярного манипулятора с помощью общего уравнения динамики. Определены значения движущих моментов. Полученные выражения могут быть использованы на этапах проектирования и программирования рабочих движений манипулятора.

Ключевые слова: двухзвенный ангулярный манипулятор, общее уравнение динамики.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.57.00

Анализ движущих моментов манипулятора с помощью уравнения Лагранжа 2-го рода

Власов Е.Н., Давидов А.В.

Введение

Эффективность применения методов аналитической механики в практических инженерных расчетах по сравнению с общими теоремами динамики заключается в том, что при составлении дифференциальных уравнений движения механической системы не требуется ввода реакция идеальных связей.

В качестве объекта исследования выбран плоский двухзвенный ангулярный манипулятор. По заданным законам движения звеньев манипулятора определяются движущие моменты силовых приводов, расположенных в его сочленениях.

Актуальность задачи заключается в том, что анализ движущих моментов является основным этапом при выборе двигателей, способных обеспечить выполнение манипулятором заданных рабочих процессов.

Механическая система манипулятора состоит из стрелы – звена ОА длиной d и рукоятки – звена АВ длиной b (рисунок). Все звенья считаются невесомыми абсолютно твердыми стержнями. Рабочий орган, представленный в виде материальной точки В, силой тяжести G , жестко связан с звеном АВ.

Звенья и рабочий орган совершают движение в координатной плоскости ОХУ, совпадающей с плоскостью чертежа. Положительные направления отсчета углов φ и ψ , являющихся обобщенными координатами манипулятора, указаны на рисунке. Задана начальная конфигурация манипулятора, т.е. значения обобщенных координат φ_0 и ψ_0 . Известны зависимости изменения во времени обобщенных скоростей $\dot{\varphi}$ и $\dot{\psi}$.

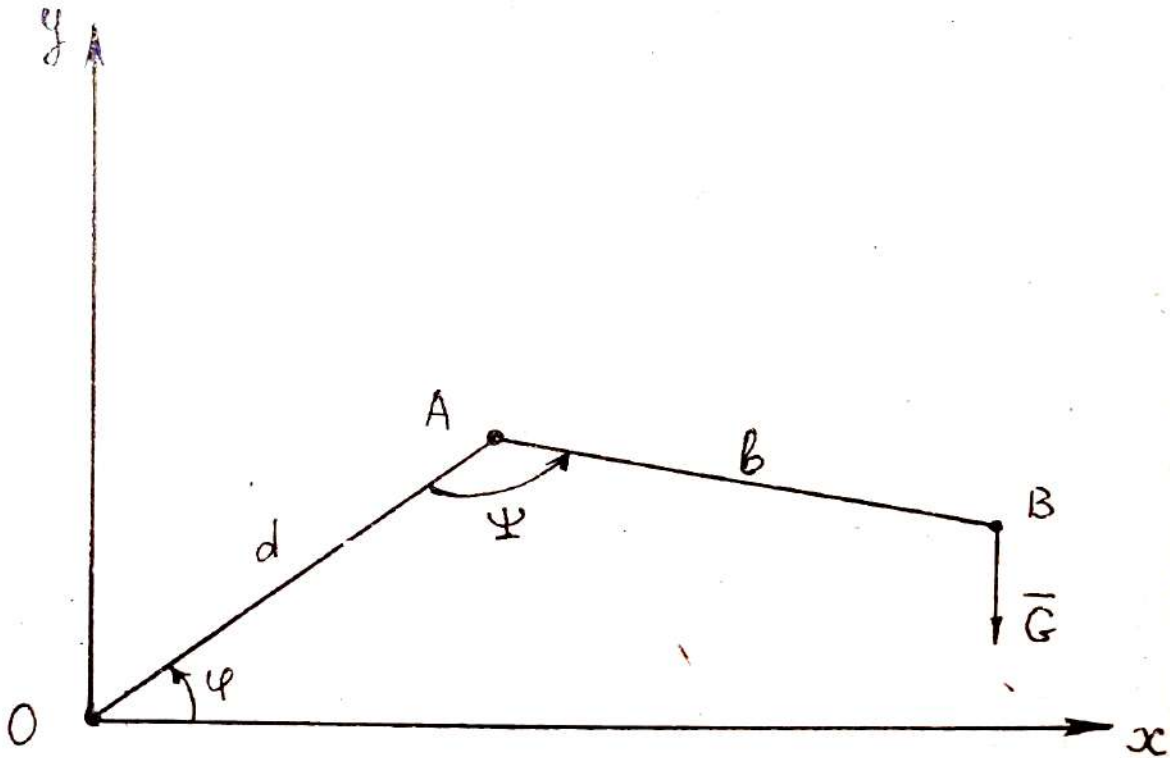


Рисунок. Механическая система манипулятора

Рассматриваемый манипулятор имеет две степени свободы. Выбираем в качестве обобщенных координат углы φ и ψ .

Уравнения Лагранжа II рода [1] для нашей системы из двух степеней свободы имеют вид:

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\varphi}} - \frac{\partial T}{\partial \varphi} = Q_{\varphi}, \quad \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} - \frac{\partial T}{\partial \psi} = Q_{\psi}. \quad (1)$$

где: T – кинетическая энергия системы, Q_{φ} , Q_{ψ} – обобщенные силы.

Вычислим кинетическую энергию системы, выразив ее через обобщенные координаты φ , ψ . Так как звенья манипулятора считаются абсолютно жесткими и невесомыми, то кинетическая энергия системы будет равна кинетической энергии груза, т.е.:

$$T = \frac{1}{2} \frac{G}{g} v^2 = \frac{1}{2} \frac{G}{g} (v_x^2 + v_y^2 + v_z^2), \quad (2)$$

где v_x , v_y , v_z – проекции скорости груза на оси неподвижной системы координат $Oxyz$:

$$\begin{aligned} v_x &= -l_1 \dot{\varphi} \sin \varphi + l_2 (\dot{\varphi} + \dot{\psi}) \sin(\varphi + \psi), \\ v_y &= l_1 \dot{\varphi} \cos \varphi - l_2 (\dot{\varphi} + \dot{\psi}) \cos(\varphi + \psi), \\ v_z &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Определим обобщенные силы. Для вычисления обобщенной силы Q_{ψ} дадим системе такое возможное перемещение, при котором:

$$\delta\psi \neq 0$$

$$\delta\phi = 0$$

Вычислим на этом перемещении работу δA_1 всех активных сил, приложенных к манипулятору. Множитель при вариации $\delta\psi$ в выражении δA_1 будет равен обобщенной силе Q_ψ .

Работа момента M_{AZ}^Y при повороте звена l_2 на угол $\delta\psi$ равна:

$$\delta A(M_{AZ}^Y) = M_{AZ}^Y \delta\psi.$$

Работу силы тяжести \bar{G} вычислим как работу силы, приложенной к твердому телу, вращающемуся вокруг неподвижной оси z_1 , проходящей через ось шарнира А. Момент силы тяжести G относительно оси z_1 :

$$M_{z_1}^G = -Gl_2 \sin(\phi + \psi).$$

Поэтому
$$\delta A_1 = -Gl_2 \sin(\phi + \psi)\delta\psi + M_{AZ}^Y \delta\psi.$$

Множитель при вариации $\delta\psi$ представляет обобщенную силу:

$$Q_\psi = M_{AZ}^Y - Gl_2 \sin(\phi + \psi). \quad (4)$$

Для вычисления обобщенной силы Q_ϕ дадим системе возможное перемещение $\delta\psi = 0$, $\delta\phi \neq 0$. Работа силы тяжести в этом случае:

$$\delta A(G) = -G[l_1 \cos \phi - l_2 \cos(\phi + \psi)]\delta\phi \quad (5)$$

Работа момента M_{OZ}^Y при повороте звена l_1 на угол $\delta\phi$ будет равна:

$$\delta A(M_{OZ}^Y) = M_{OZ}^Y \delta\phi. \quad (6)$$

Из (5), (6) находим:
$$Q_\phi = M_{OZ}^Y - G[l_1 \cos \phi - l_2 \cos(\phi + \psi)]. \quad (7)$$

Выполним далее указанные в уравнениях Лагранжа (1) действия:

$$\frac{\partial T}{\partial \phi} = 0, \quad \frac{\partial T}{\partial \psi} = \frac{G}{g} l_1 l_2 \dot{\phi}(\dot{\phi} + \dot{\psi}) \sin \psi,$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} = \frac{G}{g} [l_1^2 \dot{\phi} + l_2^2(\dot{\phi} + \dot{\psi}) - l_1 l_2 \cos \psi (2\dot{\phi} + \dot{\psi})],$$

$$\frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} = \frac{g}{g} [l_2^2(\dot{\phi} + \dot{\psi}) - l_1 l_2 \dot{\phi} \cos \psi],$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\phi}} = \frac{G}{g} \{l_1^2 \ddot{\phi} + l_2^2(\ddot{\phi} + \ddot{\psi}) - l_1 l_2 \cos \psi (2\ddot{\phi} + \ddot{\psi}) + l_1 l_2 \sin(2\dot{\phi}\dot{\psi} + \dot{\psi}^2)\},$$

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{\psi}} = \frac{G}{g} [l_2(\ddot{\phi} + \ddot{\psi}) - l_1 l_2 \ddot{\phi} \cos \psi + l_1 l_2 \dot{\phi} \dot{\psi} \sin \psi]. \quad (8)$$

Внося полученные выражения (8), (7), (4) в уравнение (1), получим:

$$M_{OZ}^Y = \frac{g}{g} \{l_1^2 \ddot{\phi} + l_2^2(\ddot{\phi} + \ddot{\psi}) - l_1 l_2 \cos \psi (2\ddot{\phi} + \ddot{\psi}) + l_1 l_2 \sin \psi (2\dot{\phi}\dot{\psi} + \dot{\psi}^2)\} + G[l_1 \cos \phi - l_2 \cos(\phi + \psi)],$$

$$M_{AZ}^Y = \frac{g}{g} \{l_2^2(\ddot{\phi} + \ddot{\psi}) - l_1 l_2 \ddot{\phi} \cos \psi - l_1 l_2 \dot{\phi}^2 \sin \psi\} + G l_2 \sin(\phi + \psi). \quad (9)$$

Библиографический список

1. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. -824 с.

Сведения об авторах

ФИО Власов Евгений Николаевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail vlasov-en@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

Аннотация

Рассмотрен анализ движущих моментов двухзвенного ангулярного манипулятора с помощью уравнения Лагранжа 2-го рода. Определены значения движущих моментов. Полученные выражения могут быть использованы на этапах проектирования и программирования рабочих движений манипулятора.

Ключевые слова: двухзвенный ангулярный манипулятор, уравнение Лагранжа 2-го рода.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.57.00

Упрощение математического описания манипулятора как объекта управления для задач обработки рабочим органом заданных траекторий

Власов Е.Н.

Введение

Выражение, описывающее динамику манипулятора (M) в матричной форме, можно представить в виде:

$$A\ddot{q} + \sum_{s=1}^m (\dot{q}^T D_s \dot{q}) e_s = Q \quad (1)$$

где Q – вектор обобщенных сил; m – число обобщенных координат; e_s – m -мерный орт с s -той единичной составляющей; q – вектор обобщенных координат; D_s – матрица размера $m \times m$, элементами которой являются символы Кристоффеля I-го рода [1]: $d_{l,t}^s = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial a_{ls}}{\partial q_t} + \frac{\partial a_{ts}}{\partial q_l} + \frac{\partial q_{lt}}{\partial q_s} \right)$ $l, t = 1, 2, \dots, m$; a_{ij} – элементы матрицы A .

Таким образом, динамика M описывается системой уравнений относительно неизвестных обобщенных координат q .

Эти уравнения динамики M обладают большой универсальностью, так как не зависят от числа степеней подвижности, но имеют существенный недостаток – большое время вычислений, что порой не позволяет использовать их непосредственно в контуре управления M .

При большом диапазоне изменения моментов нагрузки в степенях подвижности M в процессе его работы необходимо иметь упрощенную модель объекта управления, решение которой могло бы осуществляться в реальном масштабе времени. Такая модель позволит компенсировать увеличение динамической ошибки M , обусловленное переменным моментом нагрузки, на основе известных зависимостей ошибки от момента нагрузки.

Упрощенное описание M как объекта управления возможно на основе определения тех составляющих полных уравнений динамики M , которые несущественны при исследовании его динамической точности.

Для систем управления M представляет собой объект управления с переменным моментом нагрузки. Поэтому надо определить те составляющие общего момента нагрузки для каждой степени подвижности, которые не существенно влияют на суммарный момент нагрузки. С этой целью на математической модели M , были проведены исследования различных моментов нагрузки в степенях подвижности при движении по заданной траектории. Они показали, что при изменении угловых скоростей транспортирующих степеней подвижности от 0 до 200% относительно номинальных скоростей суммарные моменты нагрузки изменяются максимум на 8%. Исследования позволили подтвердить возможность пренебречь составляющими суммарных моментов нагрузки, возникающих в степенях подвижности, которые пропорциональны произведениям и квадратам угловых скоростей степеней подвижности, что физически соответствует моментам сил Кориолиса и моментам центробежных сил инерции.

Так как, суммарные моменты нагрузки не существенно изменяются при варьировании угловой скорости подвижности, то исследовались составляющие

моментов нагрузки при движении по прямым. Выяснилось, что составляющими момента нагрузки пропорциональными угловым скоростям и их произведениям можно пренебречь без существенной ошибки.

Величины моментов, которыми пренебрегаем, зависят от скорости отработки рабочим органом траектории. Поэтому рассматривалось также влияние скорости перемещения рабочего органа на упрощенной модели M на составляющие моменты нагрузки. Выяснилось, что для рабочих органов с линейной скоростью меньше 0.5 м/с рассмотренные составляющие моменты нагрузки не существенно влияют на суммарные моменты нагрузки в степенях подвижности (они составляют менее 10%). С увеличением длин звеньев увеличивается и их масса, однако, чтобы линейная скорость рабочего органа оставалась в пределах 0.5 м/с соответственно уменьшаются и угловые скорости степеней подвижности. Поэтому доля пренебрегаемых моментов в общем моменте нагрузки изменяется не существенно для различных длин звеньев M с линейной скоростью движения рабочего органа менее 0.5 м/с.

Таким образом M как объект управления для привода i -ой степени подвижности в инженерных расчетах можно представлять как объект, имеющий переменных статический момент нагрузки и переменный момент инерции. В этом случае многосвязность объекта управления определяется пространственной конфигурацией M , то есть зависимостью названных выше моментов нагрузки от углового положения всех звеньев M . Члены момента нагрузки, которыми предложено пренебречь вызывают динамическую ошибку порядка 10^{-6} градуса, что на пару порядков меньше ошибки следящих систем степеней подвижности M .

Заключение. Таким образом, проведенные исследования позволяют упростить математическое описание M как объекта управления для задач отработки рабочим органом заданных траекторий. Предложенное упрощение сводится к приравнению элементов матрицы D_s нулю.

Библиографический список

1. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. -824 с.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Евгений Николаевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	vlasov-en@mail.ru

Аннотация

В статье представлены предложения, позволяющие упростить математическое описание манипулятора как объекта управления для задач отработки рабочим органом заданных траекторий.

Ключевые слова: манипулятор, момент нагрузки, система управления, рабочий орган.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.57.00

Модель динамики манипулятора

Власов Е.Н.

Введение

Анализ и синтез динамических параметров манипулятора (М) в качестве основной составляющей включает нахождение зависимости положения и ориентации рабочего органа в трехмерном пространстве от относительного перемещения звеньев М. Рассмотрим получение уравнения кинематики для произвольного М.

Свяжем с каждым звеном М ортогональную декартову систему координат. Систему координат $O_0 x_{10} x_{20} x_{30}$ свяжем с основанием М так, чтобы ось $O_0 x_{30}$ была направлена по оси вращения, либо по направлению линейного перемещения первого звена, начиная от основания. Оси $O_0 x_{10}$ и $O_0 x_{20}$ направим произвольно, но так чтобы при этом система координат была правой. Систему координат $O_i x_{1i} x_{2i} x_{3i}$, связанную с i -м звеном выбираем следующим образом: ось $O_i x_{3i}$ направляем вдоль оси i -й кинематической пары, ось $O_i x_{1i}$ направляем вдоль любого общего перпендикуляра к осям $O_{i-1} x_{3,i-1}$ и $O_i x_{3i}$, ось $O_i x_{2i}$ направляем так, чтобы система координат $O_i x_{1i} x_{2i} x_{3i}$ была правой.

Оси системы координат $O_n x_{1n} x_{2n} x_{3n}$ направляем так, чтобы ось $O_n x_{3n}$ смотрела в «продольном» направлении рабочего органа, а ось $O_n x_{2n}$ - в «поперечном». Орты этой системы координат определяют ориентация рабочего органа.

При таком выборе систем координат систему координат $i - 1$ можно переносов и еще одного поворота, выполняемых системой координат $i - 1$ в следующем порядке: поворот на угол γ_i вокруг оси $O_{i-1} x_{3,i-1}$ до тех пор, пока оси $O_{i-1} x_{1,i-1}$ и $O_i x_{1i}$ не станут параллельными; перенос на величину s_i вдоль оси $O_{i-1} x_{3,i-1}$ до тех пор, пока оси $O_{i-1} x_{1,i-1}$ и $O_i x_{1i}$ не окажутся на одной прямой; перенос на величину a_i вдоль оси $O_i x_{1i}$ до тех пор, пока не совпадут начала $(i - 1)$ -й и i -й систем координат; поворот на угол α_i относительно оси $O_i x_{1i}$ до тех пор, пока системы координат $(i - 1)$ -я и i -я не совместятся.

Тогда преобразование координат из системы $(i - 1)$ – й в систему i -ю будет осуществляться матрицей:

$$A_i = \begin{vmatrix} \cos \gamma_i & -\sin \gamma_i \cos \alpha_i & \sin \gamma_i \sin \alpha_i & a_i \cos \gamma_i \\ \sin \gamma_i & \cos \gamma_i \cos \alpha_i & -\cos \gamma_i \sin \alpha_i & a_i \sin \gamma_i \\ 0 & \sin \alpha_i & \cos \alpha_i & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad (1)$$

В случае вращательного сочленения параметры a_i , α_i , s_i оказываются постоянными, а переменным будет только угол γ_i , характеризующий поворот в кинематической паре. В случае поступательного перемещения a_i , α_i , γ_i будут постоянными, а переменной будет величина s_i . Эти переменные и следует принимать за обобщенную координату q_i , $i = 1, \dots, n$.

Пусть $r_i = (x_i, 1)^T = (x_{i1}, x_{i2}, x_{i3}, 1)$ – радиус-вектор некоторой фиксированной точки в пространстве в i – й систем координат манипулятора, $i = 0, 1, \dots, n$.

$$\text{Тогда} \quad r_{i-1} = A_i r_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (2)$$

где A_i – матрица (1). И получаем уравнение кинематики:

$$r_0 = B_i r_i \quad (3)$$

где $B_i = A_1 A_2 \dots A_i$, $i = 1, \dots, n$.

Определим матрицы:

$$B_i^j = \frac{\partial B_i}{\partial q_j} = \begin{cases} A_i \dots A_{j-1} D_j A_j \dots A_i, & \text{если } j \leq i \\ 0, & \text{если } j > i \end{cases} \quad (4)$$

$$B_i^{jk} = \frac{\partial B_i}{\partial q_j \partial q_k} = \begin{cases} A_1 \dots A_{j-1} D_j A_j \dots A_{k-1} D_k A_k \dots A & \text{если } j \leq i \\ A_1 \dots A_{j-1} D_j^2 A_j \dots A_j, & \text{если } j = k \leq i \\ 0, & \text{если } j > i \text{ или } k > i, \end{cases} \quad (5)$$

$i, j, k = 1, \dots, n$

$$D_j = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ если сочленение вращательное}$$

$$D_j = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \text{ если сочленение телескопическое} \quad (6)$$

Продифференцировав уравнение (3), получим выражения для скорости точки i -ого звена в инерциальной системе координат:

$$v_0 = \frac{dr_0}{dt} = \sum_{j=1}^n B_i^j \dot{q}_j r_i = \sum_{j=1}^n (B_i^j r_i) \dot{q}_j \quad (7)$$

Рассмотрим М, представляющий собой разомкнутую кинематическую цепь из n звеньев (жестко связанный с последним звеном объект манипулирования включен в состав этого звена). Любую голономную систему с n степенями свободы можно описать уравнениями Лагранжа II рода.

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_k} - \frac{\partial L}{\partial q_k} = Q_k, \quad k = 1, \dots, n \quad (8)$$

где $L = T - \Pi$ – функция Лагранжа системы, T – кинетическая энергия системы, Π – потенциальная энергия системы, q_k – обобщенные координаты, \dot{q}_k – обобщенные скорости, Q_k – обобщенные силы.

Кинетическая энергия T манипулятора равна сумме кинетических энергий T_i его звеньев, которые нетрудно получить следующим образом. Пусть dm_i – элемент массы i -ого звена, тогда соответствующий ему элемент энергии:

$$dT_i = \frac{1}{2} |\dot{r}_p^i|^2 dm_i$$

где r_p^i – радиус-вектор этого элемента в p -й системе координат. Из равенства (3) получаем:

$$dT_i = \frac{1}{2} (\dot{B}_i r_i^i, \dot{B}_i r_i^i) dm_i = \frac{1}{2} tr(\dot{B}_i r_i^i r_i^{iT} \dot{B}_i^T) dm_i$$

где $H_i = (\int r_i^i r_i^{iT} dm_i)$ – матрица инерции i -ого звена, характеризующая его массо-инерционные свойства. Так как:

$$\dot{B}_i = \sum_{j=1}^n \frac{\partial B_i}{\partial q_j} \dot{q}_j = \sum_{j=1}^n B_i^j q_j, \quad \text{то} \quad T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j,l=1}^i tr(B_i^j H_i B_i^{lT}) \dot{q}_j \dot{q}_l$$

Потенциальная энергия Π в нашем случае равна 0. Используя то, что $H_i^E = H_i$ и $tr(AB^T) = tr(BA^T)$, получаем:

$$\begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial q_k} &= \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j,l=1}^i [tr(B_i^{jk} H_i B_i^{lT}) + tr(B_i^j H_i B_i^{lkT})] \dot{q}_j \dot{q}_l = \sum_{i=k}^n \sum_{j,l=1}^i tr(B_i^{jk} H_i B_i^{lT}) \dot{q}_j \dot{q}_l, \\ \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} &= \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^i [tr(B_i^j H_i B_i^{kT}) + tr(B_i^k H_i B_i^{jT})] \dot{q}_j = \sum_{i=k}^n \sum_{j=1}^i tr(B_i^j H_i B_i^{kT}) \dot{q}_j, \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}_k} &= \sum_{i=k}^n \sum_{j=1}^i \left\{ \sum_{l=1}^i [tr(B_i^{jl} H_i B_i^{kT}) \dot{q}_j \dot{q}_l + tr(B_i^j H_i B_i^{klT}) \dot{q}_k \dot{q}_l] + tr(B_i^j H_i B_i^{kT}) \ddot{q}_j \right\} = \\ &= \sum_{i=k}^n \sum_{j=1}^i tr(B_i^j H_i B_i^{kT}) \ddot{q}_j + \sum_{i=k}^n \sum_{j,l=1}^i [tr(B_i^{jk} H_i B_i^{lT}) + tr(B_i^{jl} H_i B_i^{kT})] \dot{q}_j \dot{q}_l, \end{aligned}$$

Тогда k -е уравнение Лагранжа в явном виде будет иметь вид:

$$\sum_{i=k}^n \sum_{j=1}^i tr(B_i^j H_i B_i^{kT}) \ddot{q}_j + \sum_{i=k}^n \sum_{j,l=1}^i tr(B_i^{jl} H_i B_i^{kT}) \dot{q}_j \dot{q}_l = M_k, \quad k = 1, \dots, n$$

Обобщенная сила, действующая в k -м сочленении:

$$M_k = Q_k = M_{\Pi,K} + M_{B,K},$$

где $M_{\Pi,K}$ – момент силы или усилие на выходе k -го привода, $M_{B,K}$ – внешний возмущающий момент или усилие, отнесенные к k -й обобщенной координате.

В результате получаем окончательный вид уравнений Лагранжа:

$$\sum_{i=1}^m a_{ok}^i \ddot{q}_i + \sum_{j=1}^n \sum_{i=j}^n a_{1k}^{ji} \dot{q}_j \dot{q}_i = M_k,$$

где:

$$a_{ok}^i = \sum_{l=\max(i,k)}^n \text{tr}(B_l^i H_l B_l^{kT}),$$

$$a_{1k}^{ij} = \sigma_{ji} \sum_{l=\max(i,j,k)}^n \text{tr}(B_l^{ji} H_l B_l^{kT}),$$

$$\sigma_{jk} = \begin{cases} 1, & \text{если } j = i \\ 2, & \text{если } j \neq i \end{cases} \quad i, j, k = 1, \dots, n$$

Сокращенно уравнение (9) можно представить в виде:

$$A(q, \xi) \ddot{q} + b(q, \dot{q}, \xi) = M, \quad (10)$$

где ξ – вектор параметров манипулятора, $A(q, \xi)$ – матрица с элементами a_{ok}^i , $b(q, \dot{q}, \xi)$ – вектор с элементами $b_k = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n a_{1k}^{ji} \dot{q}_j \dot{q}_i$.

Вид уравнений (9) удобен для разработки алгоритма вычисления его коэффициентов.

Библиографический список

1. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. -824 с.

Сведения об авторах

ФИО	Власов Евгений Николаевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	vlasov-en@mail.ru

Аннотация

Получены уравнения кинематики для произвольного манипулятора. Полученные выражения могут быть использованы на этапах проектирования и программирования рабочих движений манипулятора.

Ключевые слова: инерциальная система координат, уравнение Лагранжа II рода, кинетическая энергия, потенциальная энергия, обобщенные силы.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.57.00

Исследование статических нагрузок манипулятора лесной машины при работе на склоне

Власов Е.Н., Васильев Н.И.

Введение

В качестве объекта исследования выбран манипулятор лесозаготовительной машины, представляющий собой трехзвенную кинематическую цепь.

Механическая система манипулятора лесозаготовительной машины, представляет собой трехзвенную кинематическую цепь с закреплением на базе машины основанием (рис. 1).

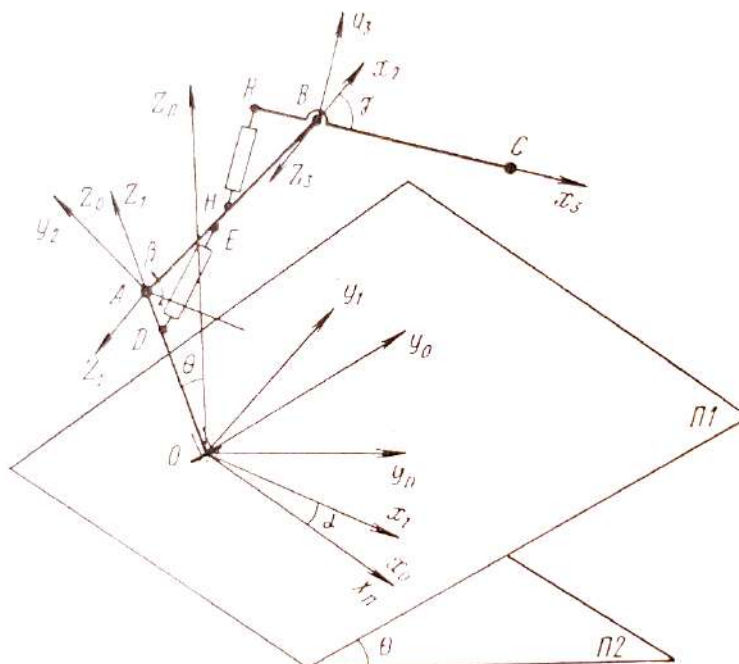


Рисунок 1. Механическая система манипулятора

Звено OA связано с основанием при помощи подпятника, а в остальных местах связей звеньев и гидроцилиндров (точки A, B, D, E, H, K) установлены цилиндрические шарниры.

Звенья OA, AB, BC – абсолютно твердые однородные стержни, силы тяжести которых соответственно \vec{G}_1 , \vec{G}_2 , \vec{G}_3 . Сила тяжести рабочего органа, представленного в виде материальной точки (точки C), равна \vec{Q} . Заданы длины звеньев OA, AB, BC, соответственно l_1 , l_2 , l_3 , а также длины отрезков AD, AE, BH и BK, равные соответственно a_1 , b_1 , a_2 , b_2 .

Звенья АВ и ВС приводятся в движение гидроцилиндрами I и II, силами тяжести которых пренебрегаем. Звено ОА приводится в движение гидромотором.

Приняты следующие системы координат: система координат $Vx_3y_3z_3$ жестко связана с рукоятью ВС, ось Vx_3 направлена вдоль рукояти, ось Vz_3 совпадает с осью цилиндрического шарнира В (рис.1); система координат $Ax_2y_2z_2$ жестко связана с стрелой АВ, ось Ax_2 направлена вдоль стрелы, ось Az_2 совпадает с осью цилиндрического шарнира А; система координат $Ox_1y_1z_1$ жестко связана с поворотной колонной ОА. Координатная плоскость Ox_1z_1 совпадает с плоскостью манипулятора, т.е. с плоскостью ОАВС. Система координат $Ox_0y_0z_0$ жестко связана с базой машины, ось Ox_0 направлена в противоположную сторону движения машины.

Конфигурация манипулятора однозначно определена тремя углами α , β , γ , где α – угол между осями Ox_1 и Ox_0 ; β – угол между осями Ax_2 и Ox_1 ; γ – угол между осями Vx_3 и Ax_2 . Условие работы машины на склоне задано углом θ .

Определим реакций в подпятнике манипулятора и момент на валу гидромотора при работе машины на склоне, а также нахождение зависимости опрокидывающего момента от вылета манипулятора.

Для определения реакций в подпятнике О и момента на валу гидромотора при работе машины на склоне ($\theta \neq 0$) рассмотрим равновесие манипулятора согласно принципу отвердевания, как равновесие одного твердого тела (рис. 2).

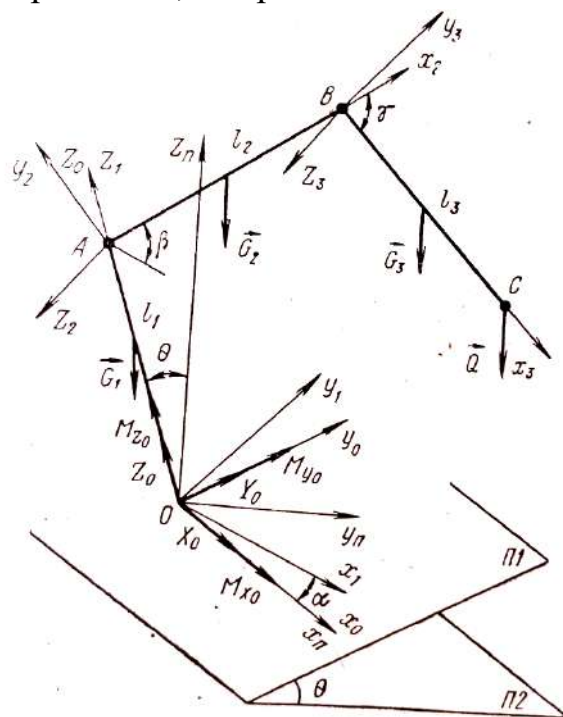


Рисунок 2. Схема равновесия манипулятора

Манипулятор находится под действием четырех активных сил: сил тяжести звеньев $\vec{G}_1, \vec{G}_2, \vec{G}_3$ и силы тяжести рабочего органа Q. Точки приложения сил известны.

Подпятник O поворотной колонны АО манипулятора относится к связи типа «жесткая заделка». Освободимся от связей, заменив действия связей реакциями связей $X_0, Y_0, Z_0, M_{x_0}, M_{y_0}, M_{z_0}$ (рис. 2). Здесь M_{z_0} – момент, создаваемый на валу гидромотора.

Теперь манипулятор можно рассматривать как свободное твердое тело, находящееся в равновесии под действием семи сил ($\vec{G}_1, \vec{G}_2, \vec{G}_3, Q, X_0, Y_0, Z_0$) и трех моментов ($M_{x_0}, M_{y_0}, M_{z_0}$). Число неизвестных равно шести ($X_0, Y_0, Z_0, M_{x_0}, M_{y_0}, M_{z_0}$).

По определению, необходимые и достаточные условия равновесия твердого тела под действием произвольной пространственной системы сил имеют вид:

$$\vec{F}_0 = 0, \quad \vec{M}_0 = 0, \quad (1)$$

где \vec{F}_0, \vec{M}_0 – соответственно главный вектор и главный момент относительно центра O активный сил и реакций связей.

Запишем векторные уравнения (1) в проекциях на координатные оси:

$$\begin{aligned} F_{x_0} = \sum_{k=1}^n F_{kx_0} = 0; \quad F_{y_0} = \sum_{k=1}^n F_{ky_0} = 0; \quad F_{z_0} = \sum_{k=1}^n F_{kz_0} = 0; \\ M_{ox_0} = \sum_{k=1}^n M_{ox_0}(\vec{F}_k) = 0; \quad M_{oy_0} = \sum_{k=1}^n M_{oy_0}(\vec{F}_k) = 0; \quad M_{oz_0} = \sum_{k=1}^n M_{oz_0}(\vec{F}_k) = 0. \end{aligned} \quad (2)$$

Имеем шесть уравнений и шесть неизвестных. Следовательно, задача статически определенная.

Составление уравнений (2) и их аналитическое решение – весьма трудоемкий процесс. Поэтому данную задачу будем решать с использованием матричного метода.

При составлении уравнений равновесия манипулятора в матричной форме будем использовать однородные координаты проективного пространства [1].

Применение однородных координат дает возможность свести различные преобразования в трехмерном пространстве к композиции двух преобразований – вращения и переноса, которым отвечает матрица: $A_i = \begin{pmatrix} u_i & b_i \\ 000 & 1 \end{pmatrix}$.

Здесь u_i – матрица размерности 3x3 направляющих косинусов осей i-ой системы координат относительно (i – 1)-ой системы координат; b_i – вектор положения начала i-ой системы координат, заданный в (i – 1)-ой системе координат.

Матрица A характеризует переход от i-ой к (i – 1)-ой системе координат.

Обратному переходу отвечает матрица $A_i^{-1} = \begin{pmatrix} u_i^T & -u_i^T b_i \\ 000 & 1 \end{pmatrix}$, где τ – знак операции транспонирования.

Радиус-вектор некоторой фиксированной в пространстве точки в i -ой системе координат, заданный в однородных координатах, 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 -ой системе координат.

Пусть радиус-вектор данной точки в $(i-1)$ -ой 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 $(i-1)$ -ой системе координат.

С помощью матриц A_i и A_i^{-1} можно записать соотношения, характеризующие связь векторов \vec{r}_{i-1} и \vec{r}_i :

$$\vec{r}_{i-1} = A_i \vec{r}_i; \quad \vec{r}_i = A_i^{-1} \vec{r}_{i-1}. \quad (3)$$

Составим уравнения равновесия манипулятора в матричной форме, используя однородные координаты проективного пространства.

Учитывая, что компоненты главного вектора и главного момента содержат активные силы и реакции связей, выражения (1) запишем в виде

$$\vec{R} + \vec{F} = 0, \quad \vec{M}_0^R + \vec{M}_0^F = 0,$$

где \vec{R}, \vec{M}_0^R – главный вектор и главный момент реакций связей; \vec{F}, \vec{M}_0^F – главный вектор и главный момент активных сил. Отсюда искомые величины \vec{R} и \vec{M}_0^R : $\vec{R} = -\vec{F}, \vec{M}_0^R = -\vec{M}_0^F$ или в матричной форме:

$$(\vec{R}) = -(\vec{F}) \quad (\vec{M}_0^R) = -(\vec{M}_0^F) \quad (4)$$

Главные векторы и главные моменты активных сил и реакций связей будем определять в проекциях на оси в системе координат $Ox_0y_0z_0$. Определим радиус-векторы точек приложения активных сил и векторы этих сил системе координат $Ox_0y_0z_0$. Согласно (3), имеем:

$$\begin{aligned} \vec{r}_{10} &= A_1 \vec{r}_1; & \vec{r}_{20} &= A_1 A_2 \vec{r}_2; & \vec{r}_{30} &= A_1 A_2 A_3 \vec{r}_3; & \vec{r}_{Q0} &= A_1 A_2 A_3 \vec{r}_{Q0} \\ \vec{G}_{10} &= A_0^{-1} \vec{G}_1; & \vec{G}_{20} &= A_0^{-1} \vec{G}_2; & \vec{G}_{30} &= A_0^{-1} \vec{G}_3; & \vec{Q}_0 &= A_0^{-1} \vec{Q} \end{aligned}$$

Здесь:

$$\begin{aligned} \vec{r}_1 &= (0, 0, l_1/2, 1)^T & \vec{r}_2 &= (l_2/2, 0, 0, 1)^T \\ \vec{r}_3 &= (l_3/2, 0, 0, 1)^T & \vec{r}_Q &= (l_3, 0, 0, 1)^T \end{aligned} \quad (5)$$

– радиус-векторы точек приложения сил тяжести звеньев и рабочего органа, определенные в связанных с ними системах координат. Векторы сил тяжести, определенные в системе координат $Ox_{пy_{п}z_{п}}$;

$$\vec{G}_1 = (0,0,-G_1,0)^T \quad \vec{G}_2 = (0,0,-G_2,0)^T \quad \vec{G}_3 = (0,0,-G_3,0)^T \quad \vec{Q} = (0,0,-Q,0)^T \quad (6)$$

Матрицы перехода имеют вид:

$$A_0^{-1} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \theta & \sin \theta & 0 \\ 0 & -\sin \theta & \cos \theta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_1 = \begin{pmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (7)$$

$$A_2 = \begin{pmatrix} \cos \beta & -\sin \beta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 \\ \sin \beta & \cos \beta & 0 & l_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad A_3 = \begin{pmatrix} \cos \gamma & \sin \gamma & 0 & l_2 \\ -\sin \gamma & \cos \gamma & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Определим главный вектор активных сил: $\vec{F} = \sum_{i=1}^3 \vec{G}_{i0} + Q_0$, или в матричной форме через проекции на оси координат:

$$(\vec{F}) = \begin{pmatrix} F_{X0} \\ F_{Y0} \\ F_{Z0} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^3 G_{i0X} + Q_{0X} \\ \sum_{i=1}^3 G_{i0Y} + Q_{0Y} \\ \sum_{i=1}^3 G_{i0Z} + Q_{0Z} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (8)$$

где последний элемент матрицы столбца принят равным нулю. Главный момент активных сил относительно центра О по определению:

$$\vec{M}_O^F = \sum_{i=1}^3 \vec{r}_{i0} \times \vec{G}_{i0} + \vec{r}_{Q0} \times \vec{Q}_0 \quad \text{или} \quad \vec{M}_O^F = \sum_{i=1}^3 \vec{M}_{Oi}^F + M_{Q0} \quad (9)$$

По определению [1], выражение $\vec{M}_{Oi}^F = \vec{r}_{i0} \times \vec{G}_{i0}$ можно представить в следующей матричной форме:

$$(\vec{M}_{Oi}^F) = C_{i0}(\vec{G}_{i0}) \quad (10)$$

где $C_{i0} = \begin{pmatrix} 0 & -z_{i0} & y_{i0} & 0 \\ z_{i0} & 0 & -x_{i0} & 0 \\ -y_{i0} & x_{i0} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$. Учитывая (10), представим равенство (9) в

матричной форме $(\vec{M}_{Oi}^F) = \sum_{i=1}^3 C_{i0}(\vec{G}_{i0}) + C_{Q0}(\vec{Q}_0)$ или:

$$\begin{pmatrix} M_{OXo}^F \\ M_{OYo}^F \\ M_{OZo}^F \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sum_{i=1}^3 M_{Oix} + M_{OQx} \\ \sum_{i=1}^3 M_{Oiy} + M_{OQy} \\ \sum_{i=1}^3 M_{Oiz} + M_{OQz} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (11)$$

Подставив выражения (8) и (11), определим искомые реакции:

$$(\vec{R}) = \begin{pmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \\ 0 \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} F_{Xo} \\ F_{Yo} \\ F_{Zo} \\ 0 \end{pmatrix} \quad (\vec{M}^R_o) = \begin{pmatrix} M_{Xo} \\ M_{Yo} \\ M_{Zo} \\ 0 \end{pmatrix} = - \begin{pmatrix} M_{OXo}^F \\ M_{OYo}^F \\ M_{OZo}^F \\ 0 \end{pmatrix}$$

Момент M_{Xo} является опрокидывающим моментом, действующим на машину. Интерес представляет зависимость данного момента от вылета манипулятора L:

$$M_{Xo} = f(L) \quad (12)$$

$$\text{где} \quad L = l_2 \cos \beta + l_3 \cos(\gamma - \beta) \quad (13)$$

Необходимо определить эту зависимость при $0 \leq \beta \leq 60^\circ$ и $30^\circ \leq \gamma \leq 150^\circ$, т.е. учитывая (12) и (13).

Библиографический список

1. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Государственное издательство физико-математической литературы, 1961. -824 с.
2. Динамика управления роботами. Под ред. Е.И.Юревича. М.: Наука, 1984.- 336 с.

Сведения об авторах

ФИО Власов Евгений Николаевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail vlasov-en@mail.ru

ФИО Васильев Никита Игоревич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код —

e-mail vasilyek1307@gmail.com

Аннотация

Определяются реакции связей в шарнирах и подпятнике манипулятора и усилия на штоках гидроцилиндров при работе на склоне. Полученные выражения могут быть использованы на этапах проектирования.

Ключевые слова: трехзвенный ангулярный манипулятор, реакции связей.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 55.57.00

Динамические нагрузки на двигатель при работе лесозаготовительной техники

Мосеев И.Г., Кретинин В.И., Теппоев А.В.

Введение

Машины с технологическим оборудованием гидроманипуляторного типа находят широко распространены в лесозаготовительной отрасли. Интенсификация технологических процессов, а также разработка научных основ проектирования лесозаготовительных машин требуют постановки широкомасштабных исследований по проблемам машинных агрегатов с двигателями внутреннего сгорания (ДВС). В указанной связи актуальными являются задачи разработки научно-обоснованных математических моделей валочно-трелевочных машин и трелевочных тракторов с манипуляторами в режимах разгона при подъеме дерева стрелой и перенесении вертикально расположенного дерева поворотом манипулятора.

Цель работы

Применение теоретических методов расчета динамических нагрузок на силовые агрегаты валочно-трелевочных машин и трелевочных тракторов с манипуляторами позволяет создавать машины с повышенной эффективностью и надежностью.

Методы исследования: методы теории расчета динамики манипулятора, математический анализ.

Результаты исследования.

Для изучения динамической нагруженности двигателя, играющей основную роль в период разгона (переходный режим), важно исследовать работу технологического оборудования. Максимальные нагрузки в упругих связях происходят в тормозных режимах, когда двигатель отключен от оборудования гидрораспределителем и их не воспринимает. В силу этого обстоятельства основное внимание научной литературы [1] уделялось тормозным режимам, а не

режимам разгона. Вместе с тем, при работе двигателя в пусковых режимах, нагрузки на силовой агрегат существенны. Поэтому проблема изучения периода разгона важна для всестороннего анализа процессов, происходящих при работе ДВС.

На рис. 1 представлена схема, иллюстрирующая работу лесосечной машины в режиме переноса дерева поворотом манипулятора.

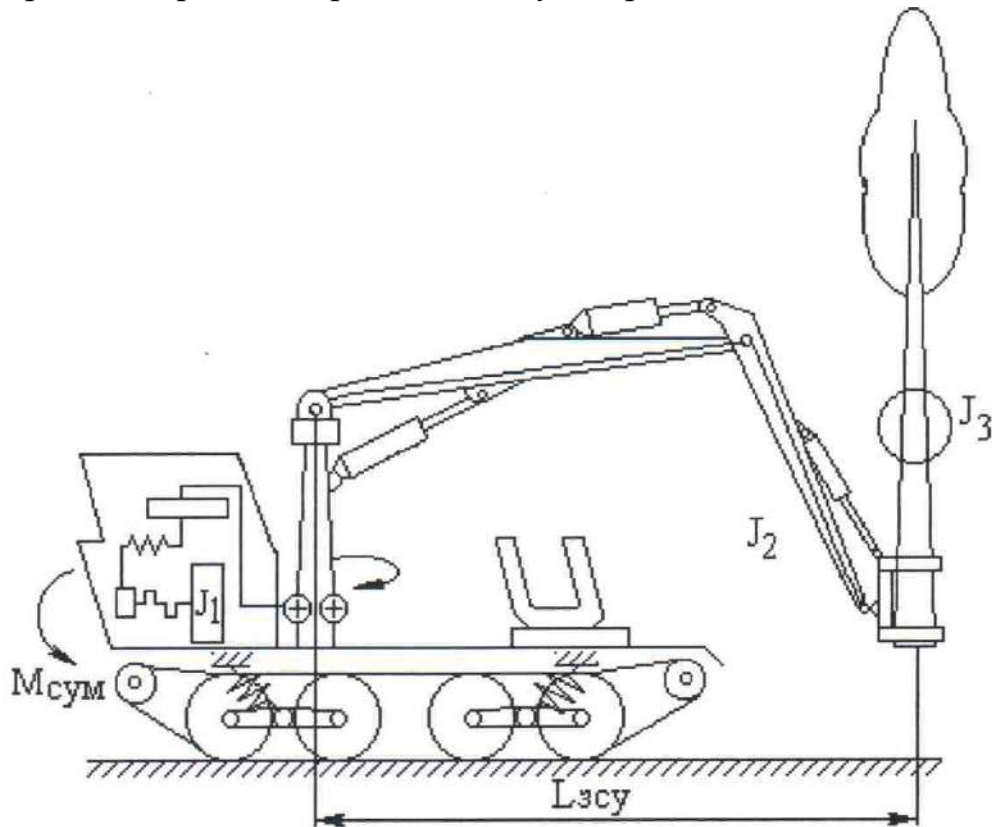


Рисунок 1. Схема переноса дерева поворотом манипулятора

Частотная характеристика вращения коленчатого вала дизеля СМД-14 БН по нагрузке представляется выражением [2]:

$$W(i\omega) = \frac{n(i\omega)}{M_{\text{СУМ}}(i\omega)} = \frac{K_D (T_2^2 S^2 + 2T_2 \xi_1 S + 1)}{(T_1 S + 1)(T_3^2 S^2 + 2T_3 \xi_2 S + 1)(T_4 S + 1)}, \quad (1)$$

где K_D – коэффициент передачи дизеля, $1/\text{Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}$; $S = i\omega$; $\omega = 2\pi f$ – угловая частота; f – частота колебаний, Гц; ξ_1, ξ_2 – коэффициенты затухания; T_1, T_2, T_3, T_4 – постоянные времени трактора, с.

$$T_1 = \frac{\pi}{30} [J_1 + (J_2^{\text{пр}} + J_3^{\text{пр}}) \cdot \delta] \cdot \frac{n_H^2}{N_H}, \quad (2)$$

где J_1 – момент инерции двигателя, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $J_2^{\text{пр}}$ – приведенный к двигателю момент инерции манипулятора, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$; $J_3^{\text{пр}}$ – приведенный к двигателю момент инерции захватно-срезающего устройства (ЗСУ) и предмета труда-дерева, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$;

Π_H – номинальная частота вращения коленчатого вала двигателя, об/сек;
 N_H – номинальная мощность двигателя, Вт; δ – коэффициент неравномерности вращающихся масс.

$$\delta = 1 + \frac{J_{ш1} + J_{ш2}}{J_2^{np} + J_3^{np}}, \quad (3)$$

где $J_{ш1}$ – момент инерции шестерен гидронасоса, кг·м²; $J_{ш2}$ – момент инерции шестерни распредвала, кг·м²;

Перейдем от частотной характеристики к передаточной функции $\Phi(p)$ рассматриваемой системы. Имеем:

$$W(i\omega) = \frac{a_1\omega^2 + a_2\omega + a_3}{(\omega + a_4)(\omega^2 + a_5\omega + a_6)(a_7\omega + 1)} \quad (4)$$

Передаточная функция получается с помощью аналитического продолжения выражения (4). Получаем:

$$\Phi(p) = \frac{b_1p^2 + b_2p + b_3}{(p - b_4)(p^2 + b_5p + b_6)(p - b_7)}, \quad (5)$$

где

$$p = i\omega, \quad c^{-1}; \quad b_1 = \frac{-a_1}{a_7} = 188,1 \frac{1}{H \cdot m \cdot c^3}; \quad b_2 = \frac{-a_2i}{a_7} = 131,6 \frac{1}{H \cdot m \cdot c^4};$$

$$b_3 = \frac{a_3}{a_7} = 458,7 \frac{1}{H \cdot m \cdot c^5}; \quad b_4 = \frac{a_4}{i} = -15,2 \quad c^{-1}; \quad b_5 = a_5 \cdot i = -1,08 \quad c^{-1};$$

$$b_6 = -a_6 = 4 \quad c^{-1}; \quad b_7 = \frac{1}{a_7 \cdot i} = -3,77 \quad c^{-1}.$$

Отклик системы – импульсная функция $n(t)$ проводится с помощью обратного преобразования Лапласа [3]:

$$n(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{\sigma - \infty i}^{\sigma + \infty i} \Phi(p) \cdot e^{pt} dp. \quad (6)$$

Учитывая аналитические свойства функции (6) и используя лемму Жордана [3], приходим к заключению, что в формуле обращения можно принять $\sigma=0$. Таким образом, отклик системы можно вычислять по формуле:

$$n(t) = \frac{1}{2\pi i} \int_{-\infty i}^{+\infty i} \Phi(p) \cdot e^{pt} dp \quad (7)$$

С помощью теории вычетов [3] находим:

$$n(t) = r_1 + r_2 + r_3 + r_4; \quad r_k = \text{res}[\Phi(p)e^{pt}, p_k] \quad (8)$$

$\Phi(p)$ – имеет простые полюса:

$$p_1 = b_4, \quad p_2 = b_7, \quad p_{3,4} = \frac{-b_5 \pm \sqrt{b_5^2 - 4 \cdot b_6}}{2}$$

Все полюса лежат левее мнимой оси. Вычеты r_1, r_2, r_3 и r_4 имеют вид:

$$r_1 = \frac{b_1 b_4^2 + b_2 b_4 + b_3}{(b_4 - b_7)(b_4^2 + b_5 b_4 + b_6)}; \quad r_2 = \frac{b_1 b_7^2 + b_2 b_7 + b_3}{(b_7 - b_4)(b_7^2 + b_5 b_7 + b_6)}; \quad (9)$$

$$r_3 + r_4 = 2 \operatorname{Re} r_3; \quad r_3 = 2e^{\alpha} \frac{F \cos \beta t - G \sin \beta t}{C^2 + D^2}.$$

где параметры С, D, F, и G имеют простые аналитические выражения. Подставляя численные значения входящих в (9) параметров:

$$n(t) = -16,8e^{-15,2t} + 16,3e^{-3,77t} + 0,47e^{-0,54t} \cos 1,93t - 2,67e^{-0,54t} \sin 1,93t \quad (10)$$

Формула (10) позволяет вычислить обороты двигателя при единичных кратковременных нагрузках поступающих на коленчатый вал. Результаты расчетов по (10) приведены на рис. 2 и рис. 3.

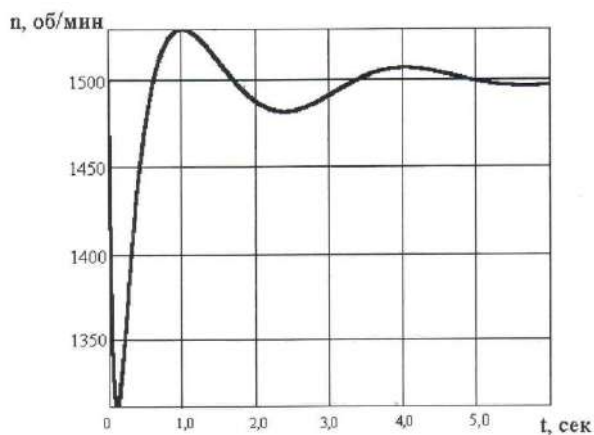


Рисунок 2. График импульсной переходной функции частоты вращения коленчатого вала дизеля СМД-14 БН

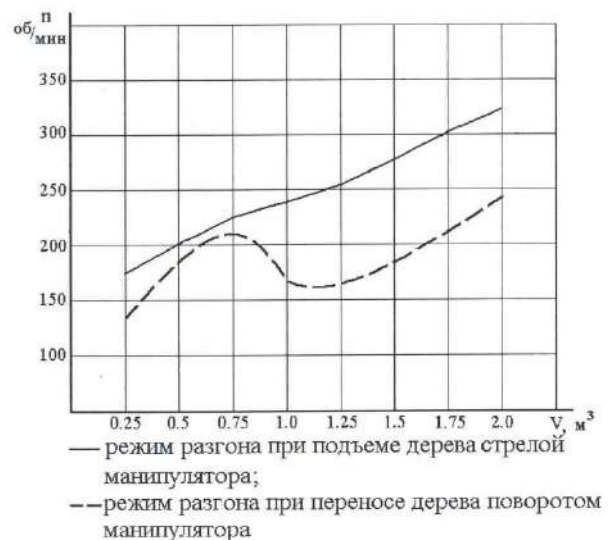


Рисунок 3. Графики изменения падений оборотов на коленчатом валу двигателя в зависимости от объема пакуемых деревьев при вылете манипулятора ($L_{3cy} = 5 \text{ м}$)

Заключение

- Пусковые режимы при работе технологического оборудования лесосечных машин сопровождаются значительными динамическими нагрузками на силовой агрегат.
- Развитый математический аппарат позволяет определить характер и уровень колебаний оборотов на коленчатом валу двигателя.
- Изменение оборотов переходит быстро на асимптоту за 0,5 с.
- В режиме разгона при подъеме дерева стрелой манипулятора падение на коленчатом валу двигателя для объемов деревьев 0,25- 1,25 м³ находится в интервале средних значений и составляет 175- 255 об/мин. При объемах деревьев свыше 1,25 м³ в интервале высоких значений 255-330 об/мин.
- Режим разгона при переносе дерева поворотом манипулятора характерен менее значительной просадкой оборотов на коленчатом валу силовой

установки. Здесь падение оборотов находится в средних пределах 135-240 об/мин.

- Теория допускает обобщение, можно ввести поправку на $M_{дин}$. При этом можно использовать общий аппарат.
- Динамическая нагрузка на силовую установку в исследуемых режимах сопровождаемая снижением частоты вращения коленчатого вала вызывает повышенный расход топлива и возможную остановку дизеля.

Библиографический список

1. Александров В.А. Моделирование технологических процессов лесных машин: Учеб, для вузов - М.: Экология, 1995.
2. Антипин В.П. Исследование двигателя трелевочного трактора в неустановившемся режиме. /Дисс. на соиск. уч. степ, к.т.н.-Л.:ЛТА, 1970.
3. Лаврентьев М.А., Шабат Б.В. Методы теории функций комплексного переменного. - М.:Наука, 1987.
4. Шамутдинов А.Х., Трейер В.А., Саввантиди Т.И. Математическое моделирование как инструмент для описания динамики колебаний манипулятора. В сборнике: Проблемы современных интеграционных процессов и пути их решения. сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции. 2019. С. 113-118.
5. Косолапова К.С., Журавлев Е.А. Кинестатический метод формирования уравнений динамики манипулятора. В сборнике: Научному прогрессу - творчество молодых. Международная молодежная научная конференция по естественнонаучным и техническим дисциплинам: материалы и доклады: в 3 частях. Поволжский государственный технологический университет. 2013. С. 54.
6. Попиков П.И. Экспериментальные исследования динамики гидропривода механизма подъема лесного манипулятора. Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 75. С. 407-418.

Сведения об авторах

ФИО	Мосеев И.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	boybratan@inbox.ru
ФИО	Кретинин Виктор Иванович
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	Тепноев Алексей Викторович

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

Аннотация

Проанализирована динамические нагрузки, возникающие при различных режимах движения лесозаготовительной машины с гидроманипулятором.

Ключевые слова: динамические нагрузки, гидроманипулятор, лесозаготовительные машины.

УДК 630.848.

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.17, 66.15.19

Влияние технического состояния машины на показатели топливной экономичности

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынин Ю.А., Песков В.А.

Введение

Одним из основных факторов, указывающих влияние на расход топлива при эксплуатации машин, является техническое состояние машин [5]. Так, неисправность или неправильная регулировка одной форсунки дизельного двигателя увеличивает расход топлива на 15...20% [3]. Понижение температуры охлаждающей жидкости на 30...40°C приводит к возрастанию расхода топлива на 5...10% из-за ухудшения процесса сгорания [10]. При отклонении угла начала подачи топлива на 3...5° удельный расход возрастает на 4...8%.

Методы исследования

Результаты работы по определению стабильности топливно-мощностных показателей двигателей в условиях реальной эксплуатации, показывают, что большинство двигателей работают с пониженной мощностью и повышенным расходом топлива [7]. Мощность двигателей снижается на 5...15%. Неудовлетворительная работа топливной аппаратуры чаще всего приводит к ухудшению экономичности двигателя [15].

Примерно через 300 часов работы у новых форсунок из-за приработки торцевых сопряжений и ослабления крепления распылителя к корпусу уменьшается давление впрыска на 2,5 ... 4 МПа, ухудшается распыл топлива [14]. При эксплуатации более 700...800 часов конец иглы распылителя покрывается лаковыми отложениями, изнашивается нагнетательный клапан, происходит утечка топлива через зазор между отверстиями корпуса и иглы [13],

что вызывает закоксовывание внутренних и наружных поверхностей распылителя и как следствие – снижение мощности и увеличение расхода топлива [16].

Для уменьшения вредного влияния указанных причин необходимо через 120 часов работы проверять установку угла опережения подачи топлива насосом, настраивать частоту вращения вала [1] двигателя на максимальные обороты холостого хода через каждые 480 мото-ч работы при помощи диагностических средств или на стенде контролировать работу и при необходимости регулировать форсунки [9]. Заменять масло в регуляторе частоты вращения следует одновременно с заменой масла в двигателе [18].

Существенно влияет на расход топлива частота поступающего в двигатель воздуха [2]. Засорение воздухоочистителя, уменьшение поступления в цилиндры двигателя чистого воздуха повышает расход топлива до 6...8% [20].

В целях экономии топлива при эксплуатации необходимо поддерживать системы двигателя в технически исправном состоянии [4], при этом следует: методами технической диагностики постоянно контролировать стабильность экономико-мощностных показателей двигателей; поддерживать необходимый тепловой режим двигателя и своевременно и в полном объеме проводить техническое обслуживание [11].

Номинальные допустимые и предельные значения показателей для оценки технического состояния системы питания дизельных двигателей приведены в таблице 1.

Таблица 1. Показатели оценки технического состояния системы питания дизельных двигателей

Параметры	СМД-14БН	А-01МЛ	ЯМЗ-236	ЯМЗ-740
Производительность элементов топливного насоса м ³ /ч: Номинальная допустимая	84 79,8/89,9	98 93,4/110,2	108 100,5/108,7	120 115,3/127,4
Угол опережения впрыска топлива, град: Номинальный допустимый	18...20 17...21	26...28 25...29	19...21 18...20	20...22 19...20
Давление начала впрыска топлива, МПа: Номинальное допустимое	18 16,5	15,5 14,5	18,5 16,0	19,5 17,0

Результаты исследования

Проверку расхода топлива проводят расходомером КИ-8940. Для непрерывного определения часового расхода топлива дизельным двигателем [12] используется устройство КИ-11267, а для измерения массового расхода топлива – КИ-8910А. Для проверки момента начала подачи топлива можно использовать приспособление КИ-13902, включающее моментоскоп КП-4941 или угломер КИ-13926. Если разность углов начала подачи топлива у

проверенных секций превышает 4° по углу поворота коленчатого вала, насос необходимо отрегулировать на стенде, если меньше 4° , то необходимо угол опережения отрегулировать изменением положения вала насоса относительно коленчатого вала двигателя [17].

Состояние прецизионных пар топливного насоса проверяют приспособлением КИ-4802, включающим: секундомер, манометр со шкалой 0...40 МПа, топливопровод высокого давления, корпус с рукояткой, внутри которой помещен предохранительный клапан манометра и демпфер [19].

Герметичность топливной системы устанавливают прямо на двигателе [8], как при помощи приборов, так и без них.

В условиях эксплуатации техническое состояние форсунок проверяют по качеству распыления, давлению начала впрыска топливом устройством КИ-9917. Остальные параметры технического состояния форсунок определяют в стационарных условиях [6]. В стационарных условиях регулировка форсунок производится приборами КИ-1609А, КИ-562 и КИ-3333.

Заключение. Для применения в условиях ремонтно-механических мастерских можно рекомендовать следующие приборы и оборудование: для регулировки и испытания топливных насосов стенды КИ-22201А, КИ-6251, КИ-22205, КИ-15711, для регулировки автотракторных форсунок стенды КИ-1404 и КИ-15713.

Библиографический список

1. 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.
2. Кривоногова А.С. Сопrotивление 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.
3. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Рачков И.Д. Основные направления синтеза оптимальных трелевочных систем // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 651-656.
4. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе // 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., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В. Основные показатели технического уровня лесных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 662-667
6. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С. Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 639-646.
7. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А. Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов // Сборник статей по

- материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 712-718.
8. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.; Чураков А.В., Охалкин Т.А. Особенности процесса наплавки металлоизделий в пропан-бутане и его влияние на технологическую производительность // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 646-651.
 9. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Парфенопуло Г.К., Лазуткина А.А. Особенности производственно-техническая инфраструктуры предприятий технического сервиса в лесного комплекса // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 672-678.
 10. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Торощин П.С. Стендовые испытания тормозной системы автомобиля с пневматическим приводом // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 678-684.
 11. Мартынов Б.Г., Козьмин С.Ф., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В. Техническая эксплуатация лесозаготовительных машин: учебное пособие для самостоятельной работы студентов всех форм обучения направления подготовки 15.03.02 «Технологические машины и комплексы» и 23.03.03 «Эксплуатация транспортно-технологических машин и комплексов». Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – 116 с.
 12. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения // 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. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниязов А. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 36-44.
 14. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Мубаракшина Т.М. Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 153-158
 15. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Торощин П.С. Создание математических моделей колесных лесопромышленных тракторов с учетом системного подхода // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 158-165.
 16. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Торощин П.С., Давыденко С.В. К оценке мощностного баланса трелевочного трактора с учетом его параметров // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Том 2 / Под ред. А.А. Добровольского. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 103-105.
 17. Спиридонов С.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Давыденко С.В. Обоснование диагностических параметров тормозной системы автомобиля // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 706-712.
 18. Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С. Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 633-639.

19. Churakov, A.V., Pushkov, Yu.L., A.S. Krivonogova, Sokolova, V.A., Markov, V.A. Diagnostics of fuel efficiency indicators of internal combustion engines in the logging industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012019.
20. Pushkov, Yu.L., Churakov, A.V., Sokolova, A.S. Krivonogova, V.A., Parfenopulo, G.K. Methods of simplification and reduction of the dynamic system «engine-transmission tractor pack of wood» of tracked skidding tractors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012018

Сведения об авторах

ФИО Кривоногова Александра Станиславовна
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 Юрий Леонидович
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 Добрынин Юрий Андреевич
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 Песков 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 aerus2009@yandex.ru

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы влияния параметров топливной аппаратуры двигателей на эксплуатационную эффективность лесопромышленных тракторов.

Ключевые слова: техническое состояние, номинальные допустимые и предельные значения показателей, топливная экономичность двигателей, диагностирование двигателей внутреннего сгорания, объекты ремонтно-обслуживающей базы.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15, 66.17.99

Анализ методики определения технического состояния топливной аппаратуры дизельного двигателя

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Котлов Д.П.

Введение

Выбор системы признаков, характеризующих техническое состояние топливной аппаратуры, это решение лишь первой задачи технической диагностики – выделение исследуемого объекта. Следующая задача – это классификация объекта, включающая в себя два последовательных этапа: задачу обучения и задачу различения [3], [8].

Методы исследования

Задача обучения заключается в рассмотрении выбранной системы признаков, анализ их взаимодействия, статистической частоты появления признаков, т.е. в формировании диагностических таблиц [2], [5].

Задача различения сводится к построению алгоритма, с помощью которого представленная совокупность признаков была бы отнесена к одному из возможных состояний топливной аппаратуры [11], [12].

Для задачи технической диагностики топливной аппаратуры целесообразно использовать вероятностный метод, выраженный формулой:

$$P(D^i / K) = \frac{P(D^i) \cdot P(K/D^i)}{\sum_{S=i}^n P(D_S) \cdot P(K/D_S)} \quad (1)$$

где $P(D^i / K)$ – вероятность состояния D^i при наличии комплекса признаков K ; $P(D^i)$ – априорная вероятность состояния D^i , определяемая по статистическим данным:

$$P(K/D^i) = N^i / N \quad (2)$$

где N – число исследуемых изделий; i – число узлов системы, у которых обнаружены состояния D^i ; $P(K/D^i)$ – вероятность проявления комплекса признаков при состоянии D^i .

Из формулы (1) видно, что сумма вероятностей всех состояний $\sum_{i=1}^n P(D_i/K) = 1$, так как они образуют полную группу событий. Если признаки, характеризующие состояние топливной аппаратуры D^i , являются независимыми, то:

$$P(K/D^i) = P(K^1/D^i) \cdot P(K^2/D^i) \dots P(K^m/D^i)$$

$$P(D^i/K) = \frac{P(D_i)P(K_1/D_i)P(K_2/D_i)\dots P(K_m/D_i)}{\sum_{S=1}^n P(D_S)P(K_1/D_S)P(K_2/D_S)\dots P(K_m/D_S)} \quad (3)$$

Если признаки не являются независимыми, то:

$$P(K^m/D^i) = P(K^1/D^i) P(K^2/D^i K^1) \dots P(K^m/D^i K^1 \dots K^{m-1})$$

Определение условных вероятностей $P(K^2/D^i K^1) P(K^m/D^i K^1 \dots K^{m-1})$ при большом количестве признаков возможно лишь при большой статистической обработке материала [1], [4], [7]. При зависимых признаках, например, K^1 и K^2 произведение в числителе можно выразить: $P(K^1/D^i) P(K^2/D^i K^1) = P(K^1 K^2/D^i)$.

Материалами для составления диагностической таблицы являются данные по отказам и неисправностям дизельных двигателей, вызванные топливной аппаратурой [6]. На основании анализа материалов, поступивших из эксплуатации, данные отчетов ремонтных предприятий и результатов исследований, можно проследить взаимосвязь между различными неисправностями и внешними признаками [9]. Эта взаимосвязь отображена в таблице 1.

Результаты исследования

При построении таблицы 1 удобно в строчки записывать различные неисправные состояния, а в столбцы – параметры, с помощью которых эти неисправности могут быть выявлены в условиях эксплуатаций топливной аппаратуры на дизельном двигателе [10].

Таблица 1. Таблица взаимосвязей неисправностей и внешних признаков

Состояние	Признаки							
	K^1	K^2	K^3	K^4	K^5	K^6	...	K^n
D^1	1	1	1	1	0	0	...	1
D^2	0	1	0	1	1	0	...	0
...
D^n	0	0	0	0	1	1	...	1

Заполняется таблица согласно полученной информации: против параметров, с помощью которых может быть определено рассматриваемое неисправное состояние, в строке этого состояния ставится 1, а против остальных – нули. Таблица 1 выявляет лишь принципиальную взаимосвязь между различными сочетаниями и состояниями топливной аппаратуры в системе двигателя и признаками, с помощью которых эти состояния могут быть определены [8].

Затем составляют диагностическую таблицу 2, в которую заносят априорные вероятности состояний топливной аппаратуры. На основании анализа и обработки этих данных методами математической статистики в диагностическую таблицу записывают различные состояния D^i , а в столбцы – признаки K^i . Затем в отдельном столбце напротив каждого состояния заносят частоту нахождения топливной аппаратуры в состоянии $P(D^i)$. Эту частоту, полученную путем обработки статистического материала, принимаем за априорную вероятность нахождения агрегата в данном состоянии $P(D^i)$. В последней строчке таблицы 2 приведена частота встречаемости признака во всех исследуемых состояниях, принимаемых в качестве его вероятности $P(K^j)$.

Остальные графы заполняют частотой встречаемости признаков при различных состояниях, которую также принимаем за вероятность появления признаков при различных состояниях $P(K^j/D^i)$.

Диагностическая таблица является основой технического диагностирования топливной аппаратуры в системе двигателя.

Таблица 2. Диагностическая таблица

Условное обозначение неисправного узла	Признак					Априорная вероятность нахождения агрегата в данном неисправном состоянии $P(D^i)$
	K^1	K^2	K^3	...	K^n	
D^1				...		
D^2				...		
...
D^n				...		
Вероятность встречаемости признака				...		
$P(K^j)$...		

Заключение

Диагностическая таблица является основой технического диагностирования топливной аппаратуры в системе двигателя, на основании которой можно достаточно достоверно определить по косвенным показателям техническое состояние топливной аппаратуры.

Библиографический список

1. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Вишнев Д.В. Перспективные направления развития методов диагностирования систем и механизмов двигателей внутреннего сгорания // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 684-691.
2. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Рачков И.Д. Основные направления синтеза оптимальных трелевочных систем // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 651-656.
3. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В. Основные показатели технического уровня лесных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции

института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 662-667

4. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С. Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 639-646.
5. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А. Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 712-718.
6. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Парфенопуло Г.К. Выбор оптимальной формы емкостей для хранения горюче-смазочных материалов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 657-661.
7. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Торощин П.С. Стендовые испытания тормозной системы автомобиля с пневматическим приводом // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 678-684.
8. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишнихизов А. Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы // 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., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Мубаракшина Т.М. Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 153-158
10. Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С. Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 633-639.
11. Churakov, A.V., Pushkov, Yu.L., A.S. Krivonogova, Sokolova, V.A., Markov, V.A. Diagnostics of fuel efficiency indicators of internal combustion engines in the logging industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012019.
12. Pushkov, Yu.L., Churakov, A.V., Sokolova, A.S. Krivonogova, V.A., Parfenopulo, G.K. Methods of simplification and reduction of the dynamic system «engine-transmission tractor pack of wood» of tracked skidding tractors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012018.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова Александра Станиславовна
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 Юрий Леонидович
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 Котлов Д.П.
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 stores.steamcommunity@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены методика определения технического стояния топливной аппаратуры дизельного двигателя посредством диагностических таблиц.

Ключевые слова: техническое состояние, номинальные допустимые и предельные значения показателей, топливная экономичность двигателей, диагностирование двигателей внутреннего сгорания, диагностические таблицы.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15, 66.17.99

Анализ динамических нагрузок в механизмах и системах трелевочного трактора с учетом резонансных колебаний

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Захарян А.С.

Введение

В лесозаготовительной отрасли широко применяются трелевочные тракторы с различными техническими параметрами и решениями, которые должны соответствовать условиям их эксплуатации и технологии работ [1], [4], [7], [9], [10].

Методы исследования

Зарубежные и отечественные исследователи [5], [6], [11], [15], [18], [19] утверждают, что единых методов упрощения реальной динамической системы с заменой ее эквивалентной динамической схемой нет. Такая замена реальной динамической системы эквивалентной расчетной схемой сопровождается

обоснованными допущениями, упрощениями и приведением параметров системы [2], [8], [12], [13], [16]. При замене реальной динамической системы эквивалентной расчетной схемой проявляются квалификация и искусство исследователя. Доказано, что даже для анализа собственных частот системы степень ее упрощения определяется еще и задачами исследования, изучаемыми режимами работы машины и динамическими свойствами системы [1], [14], [17]. Например, для анализа динамических нагрузок, возникающих в механизмах и системах машины под воздействием единичных силовых пиков (начало движения машины с места, преодоление единичных препятствий и т.д.), динамическую систему можно представить в виде трех и даже двух массовых схем [3], [10], [14], [18].

Доказано, что многомассовая динамическая система в переходных режимах ведет себя как двух- и, реже, трехмассовая система [10], [14], [17]. Экспериментальные исследования гусеничных трелевочных тракторов показали, что в трансмиссии возникают резонансные процессы от двигателя на третьей собственной частоте [9, 10, 13, 18], следовательно, эквивалентная расчетная схема динамической системы «двигатель-трансмиссия-трактор-пачка» должна иметь не более четырех масс [2], [5], [19]. Реальная динамическая система «двигатель-трансмиссия-трактор-пачка древесины», имеющая около двадцати дискретных масс, связанных упругими безинерционными связями, была для таких исследований заменена четырехмассовой схемой [1], [2], [8], [15]. Следует заметить, что всякое упрощение расчетной схемы должно сопровождаться анализом собственных частот системы, с установлением степени искажения изучаемых собственных частот под влиянием упрощения расчетной схемы [4], [10], [15], [19].

Определение и расчет параметров колебательной системы «двигатель – трансмиссия – трактор – пачка древесины» - довольно трудоемкая, прежде всего, экспериментальная работа, поэтому аналитические исследования по промышленным и сельскохозяйственным тракторам практически не встречаются [2], [5], [18].

Из множества известных экспериментальных методов определения момента инерции наиболее точным можно признать метод крутильных колебаний [6], при котором исследуемая деталь или узел подвешивается на стальной проволоке так, чтобы проволока являлась продолжением оси симметрии вращения детали, относительно которой определяется момент инерции [12].

Известно, что для эталона с четкими геометрическими размерами момент инерции равен:

$$J_0 = \frac{G_0 r^2}{2g} \quad (1)$$

Равенство кинетической энергии натяжного колеса T_k и кинетической энергии натяжного колеса, приведенной к оси ведомого вала бортовой передачи T_k^n :

$$T_k = T_k^n, \quad \frac{J_k \omega_k^2}{2} = \frac{J_k^n \omega_0^2}{2} \quad (2)$$

где J_k – момент инерции натяжного колеса; J_k^n – приведенный момент инерции колеса к оси ведомого вала бортовой передачи; ω_k – частота вращения колеса; ω_0 – частота вращения ведомого вала бортовой передачи или ведущего колеса.

После некоторых преобразований окончательно формулу связи можно записать как:

$$J_k^n = \frac{J_k r_{36}^2}{r_k^2} \quad (3)$$

где r_k – радиус натяжного колеса; r_{36} – радиус ведущего колеса (ведущей звездочки).

Результаты исследования

Гусеничная цепь совершает сложное движение. Провисающая часть цепи движется поступательно относительно трактора и вместе с трактором [9], [18], [19]. Части гусеничной цепи, находящиеся на ведущем и направляющем колесах, совершают вращательное движение. При отсутствии потерь на буксование часть гусеничной цепи, находящаяся в контакте с волоком, равна нулю:

$$V - \omega_0 r_{36} = 0 \quad (4)$$

Скорость движения трактора V :

$$V = \omega_0 r_{36} \quad (5)$$

Кинетическая энергия гусеничной цепи T_r в этом режиме определяется на основании теоремы Кенига [3], [8], [13].

$$T = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n m_i (V_i^{(r)})^2 \quad (6)$$

где $V_i^{(r)}$ – величина скорости массы m_i по отношению к системе, поступательно движущейся с центром масс [2], [4]. На основании этой теоремы, кинетическую энергию гусеничной цепи T_r при отсутствии буксования найдем, как сумму энергий в движении и по отношению к центру масс:

$$T_2 = T_2' + T_2'' = \frac{1}{2} m_0 + \frac{1}{2} m_0 V^2 = m_0 V^2 = m_0 \omega_0^2 r_{36}^2 \quad (7)$$

где m_0 – масса движущейся части гусеничной цепи; T_2', T_2'' – соответственно энергии движения гусеничной цепи вместе с ее центром масс и относительно центра масс.

При полном буксовании гусеничной цепи относительно опорной поверхности [18], то есть, когда трактор имеет $V=0$:

$$T_c = \frac{1}{2}mV_{3\delta}^2 = \frac{1}{2}m\omega_0^2 r_{3\delta}^2, \quad (8)$$

где m - масса гусеницы.

При приведении момента инерции гусеничной цепи к оси ведомого вала бортовой передачи приравняем кинетические энергии

$$T_c = T_c^n \quad (9)$$

где T_c^n - кинетическая энергия гусеничной цепи, приведенная к оси ведомого вала.

Приведенный момент инерции поступательно-перемещающихся масс трелевочной системы m_c (трелевочный трактор с пачкой древесины) определим из равенства кинетических энергий T_c и T_c^n , получим:

$$\frac{m_c v^2}{2} = \frac{J_c^n \omega_0^2}{2} \quad (10)$$

После преобразования формулы получим:

$$J_c^n = \frac{m_c r_{3\delta}^2 \omega_0^2}{\omega_0^2} = m_c r_{3\delta}^2 \quad (11)$$

где T_c и T_c^n - соответственно кинетические энергии трелевочной системы и кинетическая энергия трелевочной системы, приведенная к оси ведомого вала; J_c^n - момент инерции поступательно-перемещающейся массы трелевочной системы, приведенной к оси ведомого вала.

Если буксование значительно превышает установленные ГОСТ 5%, то приведенный момент инерции поступательно-перемещающейся массы трелевочной системы можно определить [3], [5-8], [10], [14-19]. Для этого в формуле (10) заменяем теоретическую скорость движения трелевочного трактора v на действительную v_g и помня, что $v_g = (1 - \delta) v$ формулу (11) запишем:

$$J_c^n = \frac{m_c r_{3\delta}^2 (1 - \delta)^2 \omega_0^2}{\omega_0^2} = m_c r_{3\delta}^2 (1 - \delta)^2 \quad (12)$$

где δ - коэффициент буксования.

При оценке динамических свойств системы коэффициент жесткости оценивается по известным формулам сопротивления материалов [5], [8], [10], [12].

Заключение

Для исследования динамических систем лесных машин принято моменты инерции и коэффициенты жесткости валов приводить к одной частоте вращения. Например, при исследовании системы «двигатель – трансмиссия – трактор – пачка древесины» приводят к частоте вращения коленчатого вала [3], [8], [10],

[16-19]. Для приведенных моментов инерции и коэффициентов жесткости к любой частоте вращения необходимо их значения разделить на квадрат передаточного числа трансмиссии [10].

Библиографический список

1. 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.
2. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Козьмин С.Ф., Вишнев Д.В. Перспективные направления развития методов диагностирования систем и механизмов двигателей внутреннего сгорания // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 684-691.
3. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Рачков И.Д. Основные направления синтеза оптимальных трелевочных систем // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 651-656.
4. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М. Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе // 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., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В. Основные показатели технического уровня лесных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 662-667
6. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С. Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 639-646.
7. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А. Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 712-718.
8. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.; Чураков А.В., Охалкин Т.А. Особенности процесса наплавки металлоизделий в пропан-бутане и его влияние на технологическую производительность // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 646-651.
9. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Торощин П.С. Стендовые испытания тормозной системы автомобиля с пневматическим приводом // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 678-684.
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. 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.
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. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения // 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.
14. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Мубаракшина Т.М. Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 153-158
15. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Торошин П.С. Создание математических моделей колесных лесопромышленных тракторов с учетом системного подхода // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 158-165.
16. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Торошин П.С., Давыденко С.В. К оценке мощностного баланса трелевочного трактора с учетом его параметров // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Том 2 / Под ред. А.А. Добровольского. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 103-105.
17. Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С. Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 633-639.
18. Churakov, A.V., Pushkov, Yu.L., A.S. Krivonogova, Sokolova, V.A., Markov, V.A. Diagnostics of fuel efficiency indicators of internal combustion engines in the logging industry // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012019.
19. Pushkov, Yu.L., Churakov, A.V., Sokolova, A.S. Krivonogova, V.A., Parfenopulo, G.K. Methods of simplification and reduction of the dynamic system «engine-transmission tractor pack of wood» of tracked skidding tractors // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 6, Politics, Industry, Science, Education. Сер. «VI All-Russian Science and Technology Conference: Forests of Russia: Politics, Industry, Science, Education, FR 2021». IOP Publishing Ltd., 2021. – P. 012018.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова Александра Станиславовна
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 Юрий Леонидович
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 Захарян А.С.
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 ars_zakharyan@mail.ru

Аннотация

В статье представлена методика упрощения динамической модели «двигатель – трансмиссия – трактор». Определяется лишь ограниченный спектр собственных частот, включающий лишь те частоты, на которых возможно возникновение резонансных колебаний.

Ключевые слова: динамическая система лесных машин, двигатель, трансмиссия, крутильные колебания, математическая система, резонанс.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15, 66.17.99

К вопросу применения метода вибронакатывания поверхностей деталей машин при производстве промышленной и бытовой техники

Вохмянин Н.А., Тарабан М.В.

Введение

В современных условиях промышленного производства уровень технологических разработок, применяемых при проектировании деревообрабатывающего оборудования и инструмента чрезвычайно высок. Многие прогрессивные методы упрочнения деталей (лазерная обработка, ионо-плазменное напыления) оказываются слишком дорогими, как по составу оборудования, так и по эксплуатационным затратам. Ряд высокотехнологичных типов оборудования, производство которых утрачено или не создано в РФ становятся недоступными из-за санкционной политики недружественных стран.

Цель работы – проведение анализа существующих недорогих в эксплуатации и основанных на отечественных компетенциях методов упрочнения деталей, испытывающих трение движения.

Методы исследования: аналитические методы по работе с открытыми источниками.

Результаты исследования.

В настоящее время для улучшения эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин испытывающих трение движения, наряду с комплексом таких мер, как химическая и химико-термическая обработка сопрягающихся

поверхностей, нанесение на них износостойких покрытий, наплавка твердыми сплавами, применяется метод вибрационного накатывания, разработанный в 70-е годы прошлого века в ЛИТМО д.т.н., профессором Ю. Г. Шнейдером [1]. Сущность этого метода заключается в тонком пластическом деформировании микронеровностей исходной поверхности при вдавливании в него твердосплавного шарика или алмазного наконечника. В результате такой обработки создается сеть углублений-канавок, рисунок которой обуславливается параметрами режимов вибронакатывания, в частности, таких, как частота вращения обрабатываемой детали, скорость подачи и амплитуда колебаний инструмента [2-4]. При этом образующиеся канавки могут как не соприкасаться друг с другом, так и частично или полностью пересекаться. Глубина канавок, в свою очередь, задается усилием вдавливания в поверхность обрабатываемого инструмента.

В зависимости от параметров режимов вибронакатывания и, как следствие, характера расположения канавок, площадь обработанной вибронакатыванием поверхности детали можно увеличить на 35-40% при *неизменных* габаритных ее размерах.

Метод вибронакатывания поверхностей нашел широкое применение в тракторо- и автомобилестроении, станкостроении, производстве инструмента, приборостроении, а в последнее время – в производстве товаров массового спроса. Так, например, с целью создания декоративной поверхности этим методом обрабатываются корпуса электрочайников и самоваров.

Кроме того, очевидно, что нанесение вибронакатыванием сети канавок-углублений на теплопередающие поверхности (испарители и конденсаторы) холодильных машин, приведет к интенсификации в них теплообменных процессов и, как следствие, к улучшению их эксплуатационных характеристик и технико-экономических показателей.

Выводы:

1. Метод вибронакатывания поверхностей может находить нишу своего применения при изготовлении широкой номенклатуры деталей, применяемых в лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности.
2. Внедрение данного метода может при относительно низких затратах существенно улучшать эксплуатационные характеристики выпускаемой продукции.

Библиографический список

1. Шнейдер Ю. Г. Образование регулярных микрорельефов на деталях и их эксплуатационные свойства. Л., «Машиностроение», 1972. – 358 с.
2. Полещук О. Б., Белобородов В. В., Богданов Г. Н. Повышение износостойкости деталей измельчающего механизма мясорубок методом оптимизации микрорельефа сопрягающихся

- поверхностей. В сб. «Повышение эффективности работы торгово-технологического оборудования» под ред. проф. В. В. Белобородова. Л. . ЛИСТ им. Ф. Энгельса, 1977. – с. 156-171.
3. *Липатов Н. Н.* Процессы и аппараты пищевых производств. М., «Экономика», 1987. – 272 с.
 4. *Степанова Т.Ю.* Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие/ Ивановский государственный химико-технологический университет. – Иваново, 2009.- 64 с.

Сведения об авторах

ФИО Вохмянин Николай Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8306-1032
e-mail 7520910@gmail.com

ФИО Тарабан Мария Всеволодовна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7023-1741
e-mail arcan65@mail.ru

Аннотация

В статье приводится анализ метода вибронакатывания поверхностей для увеличения износостойкости металлических деталей.

Ключевые слова: метод вибронакатывания поверхностей, амплитуда колебаний инструмента, деформировании микронеровностей.

УДК 684.4-18.053

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.19

Свойства инструментальных сталей после лазерной обработки

Вохмянин Н.А., Тарабан М.В.

Введение

Одним из основных факторов, определяющих износостойкость стального дереворежущего инструмента в процессе эксплуатации является микротвёрдость его рабочей части. Повышение микротвёрдости рабочих граней инструмента достигается различными методами – электроконтактной или индукционной закалкой, различными наплавками, ионо-плазменным напылением. Одним из прогрессивных методов увеличения микротвёрдости рабочих частей

инструмента является лазерная закалка, особенности которой рассматриваются ниже.

Цель работы – проанализировать взаимосвязь химического состава инструментальных сталей и режимов лазерной обработки на микротвёрдость.

Методы исследования: методы дюротрии и металлографии.

Результаты исследования.

Высокая скорость охлаждения при проведении лазерной обработки приводит к повышению дефектности структур по причине усиливающегося фазового наклёпа, замедляются процессы отдыха и рекристаллизации; более полно наследуются дефекты при перекристаллизации. При этом измельчаются блоки, увеличивается плотность дефектов и напряжения в кристаллической решётке. Так, при импульсной лазерной закалке стали 45 плотность дислокаций достигает $30 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$, в то же время после обычной закалки – $0,3 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$.

Основной структурной составляющей в зоне лазерного воздействия является мартенсит, более дисперсный, чем при обычной закалке. В эвтектоидной стали, подвергшейся лазерному термоупрочнению, длина реек мартенсита в зоне оплавления в 1,5 – 2 раза меньше, чем у стали прошедшей традиционную закалку. При закалке стали У10А в импульсном режиме, при энергии импульса около 100 Дж, в зоне оплавления образуется мартенсит с шириной двойников 30 – 50 Å⁰, как и в случае обычной закалки.

К важным особенностям лазерного упрочнения сталей можно отнести нижеописанные свойства. В условиях высоких скоростей нагрева, охлаждения (самого процесса закалки), характерных для закалки концентрированными потоками энергии, в том числе и лазерным излучением, не успевает происходить диффузионное выравнивание концентрации углерода в аустените. Это приводит к концентрационной неоднородности образующегося мартенсита и к повышению его микротвёрдости. По этой причине микротвёрдость подвергнутой лазерному термоупрочнению стали в большинстве случаев выше, чем у стали после обычной закалки. Повышенная микротвёрдость, кроме того, может быть и следствием большого насыщения твёрдого раствора углеродом и легирующими элементами или атмосферными газами при обработке с оплавлением.

В зоне лазерного воздействия, при увеличении содержания углерода, в стали кроме мартенсита образуется остаточный аустенит в количествах больших, чем при обычной закалке. После проведения импульсной лазерной обработки в стали У10А в зоне оплавления обнаруживается до 20 – 25% А_{ост}, в отличие от обычной закалки, где процент А_{ост} не превышает 8 – 12%. В ряде источников, например [1] приводятся данные о большем содержании А_{ост} – на уровне 30 – 35%. Повышенное содержание А_{ост} можно объяснить насыщением

углерода из поглощающих покрытий, а также растворением первичных карбидов.

Есть мнение [2], что увеличение количества $A_{ост}$ связано с измельчением зерна аустенита, так как в мелком зерне большая блочность структуры, кроме того, неоднородно распределённый углерод, взаимодействует с дислокациями, ограничиваемая их подвижность. При этом уменьшается пластическая деформация решётки аустенита, что способствует его стабилизации.

В зоне термического влияния кроме мартенсита и остаточного аустенита имеются и другие структурные составляющие: цементит, бейнит, троостит и феррит.

На уровень микротвёрдости сталей в зоне лазерного воздействия определяющее влияние оказывают режимы обработки. При увеличении скорости обработки стали с содержанием углерода 1% от 8,3 до 100 мм/с при мощности излучения 1 кВт происходит повышение максимальной микротвёрдости от 10 000 до 13 500 МПа [3,4].

Исходная структура стали влияет на её микротвёрдость в зоне лазерного воздействия. После импульсной закалки стали У8 наибольшая микротвёрдость (до 10 100 МПа) имеется в зоне лазерного влияния со структурой мартенсит отпуска. При лазерном упрочнении стали со структурой зернистого перлита микротвёрдость составляет 8 930 МПа, а при упрочнении закалённой стали – 9 250 МПа.

На микротвёрдость стали в зоне лазерного воздействия после проведения импульсной лазерной закалки влияет содержание углерода. Так микротвёрдость стали 20 составляет 7 000 МПа, стали 45 – 7 800 МПа, У8 – 9 000 МПа, У10 – 11 500 МПа, У12 – 13 000 МПа.

Вместе с тем, микротвёрдость существенно зависит от того, в каком месте зоны лазерного воздействия находится исследуемый микрообъём и по какой структурной составляющей делается анализ. В этом случае значения микротвёрдости лежат в весьма широком интервале.

Библиографический список

1. Андрияхин В.М. и др. Упрочнение стали У10 лазерным излучением. //Автомобильная промышленность. 1980. № 6. С. 28 - 29.
2. Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Методы поверхностной лазерной обработки. М.: Высш. шк., 1987. 192 с.
3. Леонтьев М.А. и др. Лазерная поверхностная обработка металлов и сплавов. М.: Металлургия, 1986. 142 с.
4. Вохмянин Н.А., Чекмезов А.П. Упрочнение деревообрабатывающего инструмента с помощью лазерного излучения// Материалы конференции «Прогрессивные способы металлообработки» Спб.: Спб ГТУ, 1993. С. 24 – 25.

Сведения об авторах

ФИО

Вохмянин Николай Александрович

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8306-1032
e-mail 7520910@gmail.com

ФИО Тарабан Мария Всеволодовна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7023-1741
e-mail arcan65@mail.ru

Аннотация

В статье приводятся результаты и анализ влияния различных факторов на микротвёрдость инструментальных сталей при проведении лазерного термоупрочнения.

Ключевые слова: микротвёрдость, лазерная закалка, упрочнение, структура стали.

УДК 684.4-18.053

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.19

Преобразование законов распределения исследуемых параметров вертикальной динамики лесохозяйственного трактора с колесной формулой 4x4

**Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С.,
Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Кузин И.С.**

Введение

Применение колесных тракторов на работах в лесу получило широкое распространение. В определенных условиях эксплуатации они имеют существенное преимущество по сравнению с гусеничными тракторами за счет мобильности на транспортных операциях [2], [3], [5], [14]. Однако повышенные скорости передвижения на лесных дорогах и трелевочных волоках сопровождаются значительными колебаниями как самого трактора, так и тракториста-оператора. Трактор, представляющий собой динамическую систему, передвигается по неровностям микрорельефа, носящего случайный

характер воздействия на его ходовую систему, вызывающую также случайный характер колебаний корпуса трактора и тракториста [6], [9].

В этой связи весьма актуальным является вопрос изучения статистических характеристик «входного» воздействия в динамическую систему, которую представляет собой колесный трактор, причем некоторые конструкции тракторов имеют независимое подрессоривание колес, как например опытный образец лесохозяйственного трактора Т-80Л Липецкого тракторного завода [7], [10]. Упругие характеристики пневматических шин вместе с упругими элементами системы подрессоривания преобразуют «входное» воздействие микрорельефа местности на «выходные» исследуемые параметры трактора, такие как деформация рессор, ускорения корпуса и тракториста [12].

Цель и задача: на основе экспериментальных исследований микрорельефа опытных участков пасечных, магистральных волоков и лесных дорог установить законы распределения их высот неровностей, и при исследовательских испытаниях трактора установить законы распределения деформаций рессор и ускорений корпуса трактора.

Методика исследования.

По полученным данным непосредственных измерений высот неровностей микрорельефа опытных участков пасечных и магистральных трелевочных волоков [2] установить закон их распределения. Затем, по результатам фиксации исследуемых параметров трактора на осциллографическую ленту в процессе его движения, также установить законы их распределения с соответствующими статистическими характеристиками [11].

По результатам «входных» воздействий от микропрофиля на динамическую систему трактора и «выходных» исследуемых параметров трактора провести сравнительный анализ установленных законов распределения.

На рисунке 1 предоставлены гистограммы распределения высот неровностей микропрофиля опытных участков.

При статистическом подходе к изучению параметров неровностей трелевочных волоков основной характеристикой служит закон распределения, дающий возможность исследовать особенности изучаемых параметров. Исследованиями в работе [2] установлено, что высоты неровностей трелевочных волоков распределены по логарифмически нормальному закону распределения [1], [11]:

$$P(x; x_0; \sigma_z) = \begin{cases} 0 & \text{при } x \leq 0 \\ \frac{1}{M_1 \sigma_z \cdot x} \cdot \varphi(u) = \frac{1}{M_1 \sigma_z \cdot x \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{u^2}{2}}, & \text{при } x > 0 \end{cases} \quad (1)$$

где: $u = \frac{\lg x - m_{\lg x}}{\sigma_z} \quad M_1 = \frac{1}{\lg e} = 2,303$

m_{lgx} – математическое ожидание случайной величины; σ_z – среднее квадратичное отклонение.

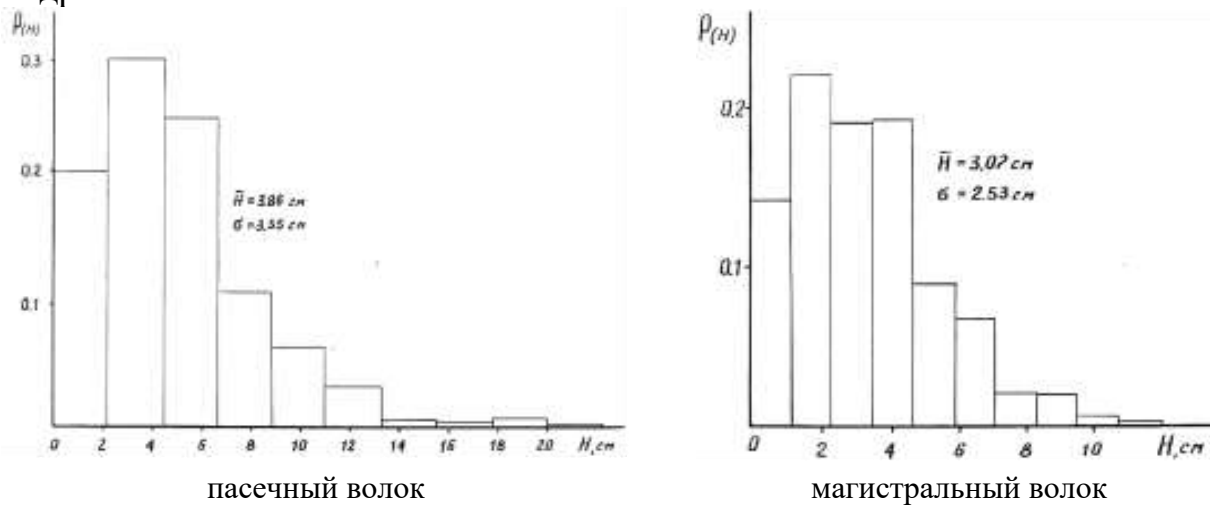


Рисунок 1. Гистограммы распределения высот неровностей микропрофиля:

\bar{H} – математическое ожидание, σ – среднеквадратическое отклонение

На рисунке 2 представлена гистограмма распределения высот неровностей трелевочного волокна, аппроксимированная по выражению (1), из которого видно удовлетворительное согласие между ними, подтвержденное значением критерия Пирсона ($P(x)^2 > 0,1$) [8].

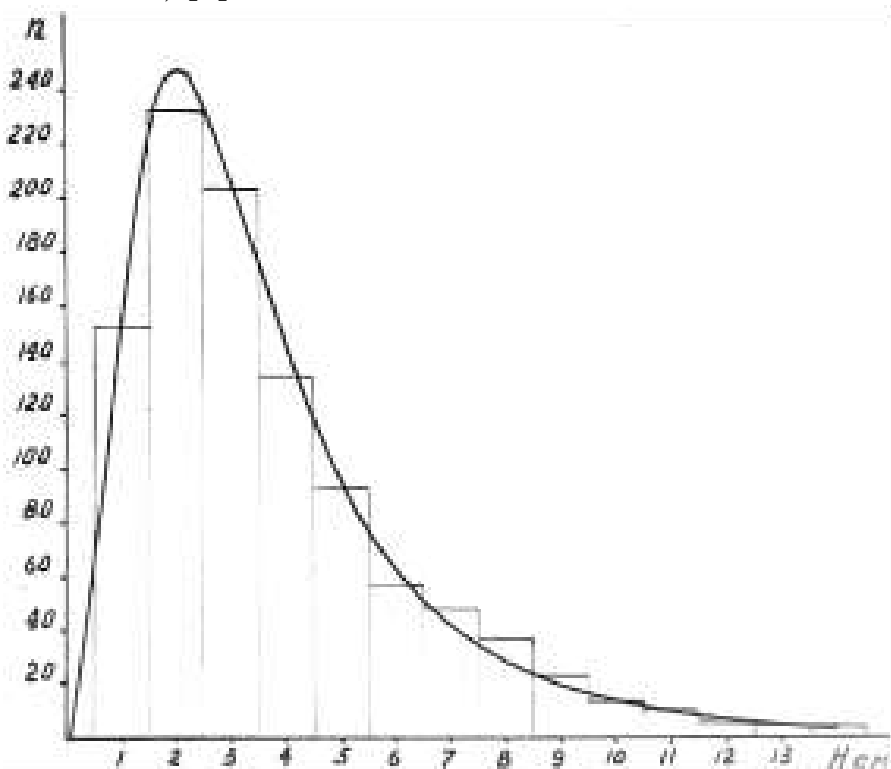


Рисунок 2. Логарифмически нормальное распределение высот неровностей микропрофиля трелевочного волокна (тип почвогрунта – легкий суглинок)

Физическая сущность логарифмически нормальной модели распределения – это проявление неоднородности, когда встречаются, хотя и с малой вероятностью, но очень большие по абсолютной величине значения

исследуемых параметров, что соответствует лесным условиям, в которых проводились исследования микрорельефа [2], [6].

При исследовании вертикальной динамики трактора при основном источнике возмущений от микрорельефа местности принимается важное допущение, что микропрофиль по левой и правой колее трактора одинаковый.

В процессе статистической обработки экспериментальных данных по «выходным» характеристикам колебательной системы таких как динамический прогиб рессор (рисунок 3) и ускорений корпуса трактора (рисунок 4) были установлены нормальные законы распределения.

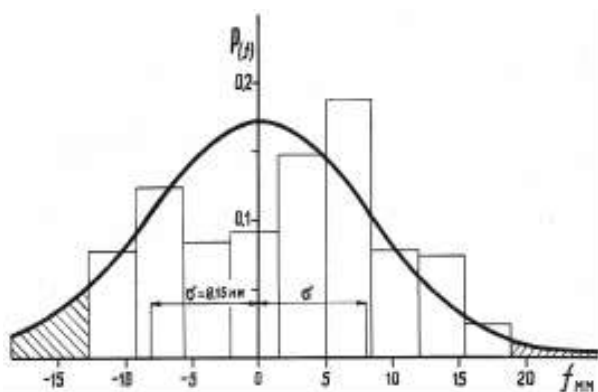


Рисунок 3. Распределение прогибов рессор задних подвесок трактора Т-80Л при движении со скоростью 10 км/ч по лесной дороге

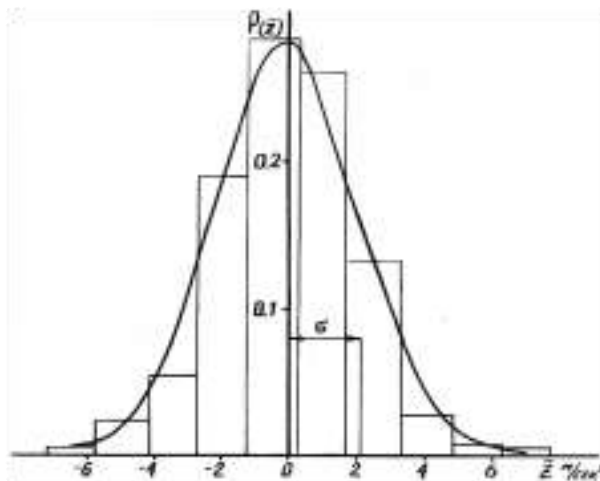


Рисунок 4. Распределение вертикальных ускорений корпуса трактора Т-80Л при движении со скоростью 8 км/ч по пасечному волоку

Результаты исследования

Экспериментальными исследованиями микропрофиля и испытаниями опытного образца лесохозяйственного трактора Т-80Л в производственных условиях установлены законы распределения: на «входе» в колебательную систему трактора – логарифмически нормальный, а на «выходе» – в виде динамического прогиба рессор и ускорений корпуса трактора – нормальный. Это обстоятельство противоречит теории линейных систем [4], согласно которой «входные» процессы, проходя через линейную систему, а именно такой системой представляется эквивалентная колебательная система трактора, не изменяют закон распределения параметров на «выходе».

Линейность динамической модели трактора очевидна, так как рассматриваемые малые колебания происходят относительно статического равновесия, где упругие характеристики шин и пружин подвески до состояния пробоя линейные [7].

По характеру гистограммы микропрофиля (Рис. 1, 2) видно, что наибольшая плотность распределения приходится на малые значения высот неровностей, которые за счет сглаживающей и поглощающей способности пневматических

шин (наличие пятна контакта с поверхностью пути) могут не восприниматься трактором [5], [6]. Здесь также надо иметь в виду, что обычно принимается гипотеза о твердой поверхности пути передвижения трактора, а в действительности почвогрунт деформируется и мелкие неровности, вдавливаясь под тяжестью трактора, изменяют характер воздействия, который отличается от результатов непосредственных измерений, полученных экспериментальным путем до проезда трактора. Отмеченные особенности могут служить причинами преобразования логарифмически нормального закона распределения высот неровностей, полученного непосредственными измерениями, во «входное» воздействие в линейную динамическую систему трактора в виде нормального закона распределения, что позволяет также получить нормальные законы распределения исследуемых параметров вертикальной динамики трактора.

Имея в виду, что закон распределения исследуемого параметра является его полной характеристикой, можно определить, например, вероятность появления тех или иных ускорений трактора, вероятность пробоя подвесок и других изучаемых физических величин [14].

Так, например, вероятность «пробоя» подвесок при скорости движения трактора 10 км/ч по лесной дороге (рисунок 3) составляет 0,173, причем вероятность «пробоя» на ходе сжатия рессор равна 0,171, а на ходе отбоя – 0,002. Вероятность появления вертикальных ускорений трактора (рисунок 4), превышающих $\pm 2,5 \text{ м/с}^2$ (ограничение для трактора согласно [13]), при движении по пасечному волоку со скоростью 6 км/ч составляет 0,23.

Заключение

На основе анализа результатов экспериментальных исследований микропрофиля в лесных условиях эксплуатации лесохозяйственного трактора и его испытаний, направленных на изучение вертикальной динамики установлено, что логарифмически нормальный закон распределения высот неровностей пути за счет пневматических шин трактора преобразуется в нормальный закон распределения, который является «входным» в линейную колебательную систему, представляющую собой трактор, что обеспечивает нормальность законов распределения «выходных» изучаемых параметров.

Библиографический список

1. Абезгауз Г.Г., Тронь А.Б. Справочник по вероятностным расчетам. М., Воениздат, 1970. – 534 с.
2. Добрынин Ю.А. Исследование вертикальной динамики колесного трактора на трелевке леса в условиях рубок промежуточного пользования. Кандидатская диссертация: дис....кад. техн. наук. – Л.: ЛТА, 1973. – 205 с.
3. Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Мартынов Б.Г., Пушкин Ю.Л., Спиридонов С.В., Назарова М. Об одной особенности вертикальной динамики лесного трактора с колесной формулой 4×4 // Научно-техническая конференция по итогам научно-исследовательских работ 2019 года. Сборник статей по материалам конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020 – 520 с. С. 275-281.
4. Заде Л., Дезоер Ч. Теория линейных систем. «Наука», М., 1970. – 700 с.

5. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Вишнев Д.В. Основные показатели технического уровня лесных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 662-667
6. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Добрынин Ю.А., Нечаев В.С. Оптимизация эффективной мощности двигателя машин для сортиментной заготовки древесины // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 639-646.
7. Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков Ю.Л., Москвина З.А. Пути повышения эксплуатационной эффективности колесных лесопромышленных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 712-718.
8. Митропольский А.К. Техника статистических вычислений. «Наука», М., 1971. -576 с.
9. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М. Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения // 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. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Мубаракшина Т.М. Оценка системного подхода к основным параметрам колесного лесопромышленного трактора // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 153-158.
11. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Торощин П.С. Создание математических моделей колесных лесопромышленных тракторов с учетом системного подхода // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 158-165.
12. Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Чураков А.В., Торощин П.С., Давыденко С.В. К оценке мощностного баланса трелевочного трактора с учетом его параметров // Материалы VI Всероссийской научно-технической конференции: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Том 2 / Под ред. А.А. Добровольского. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 103-105.
13. Требования к тракторам, сельскохозяйственным и лесным машинам по технике безопасности и гигиене труда. СЭВ. Познань, 1968. – 25 с.
14. Эйвазов А.Ф., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С. Конструктивные особенности тормозных систем колесных тракторов и перспективы развития // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2020 / отв. ред. Е.Г. Хитров – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 2021. – С. 633-639.

Сведения об авторах

ФИО	Добрынин Юрий Андреевич
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	Кривоногова Александра Станиславовна

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 Юрий Леонидович
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	Спиридонов Сергей Васильевич
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	Кузин 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	kiva11@list.ru

Аннотация

В статье представлены результаты экспериментальных исследований микропрофиля пути в лесных условиях, по которому движется лесохозяйственный колесный трактор, установлены законы распределения высот неровностей пути, и законы распределения деформации рессор подвески и ускорений корпуса. Сравнительный анализ законов распределения исследуемых параметров позволил установить, что трактор на пневматических шинах преобразует логарифмически нормальный закон распределения высот неровностей пути, установленный до проезда трактора, в нормальный закон распределения, служащий «входом» в динамическую систему трактора, что

позволяет получить нормальные законы распределения «выходных» исследуемых параметров вертикальной динамики колесного трактора.

Ключевые слова: микропрофиль пути трактора, пневматические шины, деформация рессор, ускорение корпуса трактора, закон распределения, динамическая система, преобразование входного закона распределения.

УДК 630*377

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.17.15, 66.17.99

Влияние запаса крутящего момента дизеля на буксование лесосечных машин

Михайлов О.А., Тарадин Г.С., 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_{en} 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 (таблица) 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 (рисунок). Кроме того, описано, как с увеличением рейсовой нагрузки возрастают потери на буксование (таблица) качественно такая зависимость очевидна, так как с уменьшением скорости движения и возрастанием касательной силы тяги увеличивается длительность и интенсивность процесса уплотнения грунта.

Таблица. 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

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.

Отметим, что проведенные 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%.

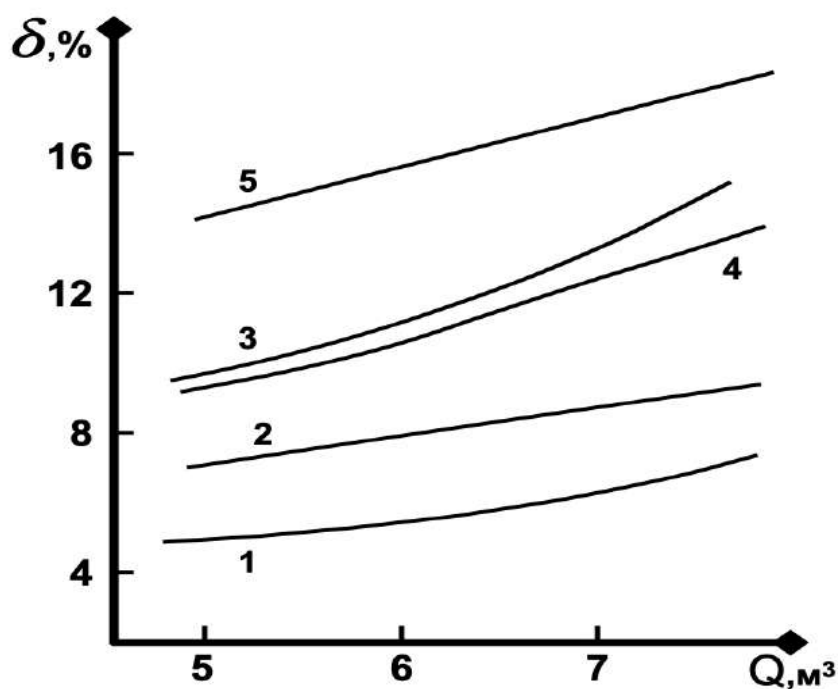


Рисунок. Зависимость потерь на буксование от рейсовой нагрузки Q при разных параметрах двигателя):

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; $K_M = 1,404$

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.-198 с.
2. Шоль Н.Г. Исследование эксплуатационных режимов трелевочных тракторов ТДТ-55М и ТБ-1М. Л.: ЛТА, 1977. – 178 с.
3. Чудаков Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля. – М.: Колос, 1972. – 384 с.
4. Валяжонков В.Д. Исследование некоторых эксплуатационных показателей трелевочных ОТЗ различной энергонасыщенности. Дисс. на соиск. уч. степени канд. техн. наук, Л. ЛТА, 1975. – 156 с.

Сведения об авторах

ФИО	Михайлов Олег Андреевич
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 Григорий Сергеевич
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	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	—
e-mail	vovaz19982@gmail.com

Аннотация

В статье рассмотрено влияние коэффициента приспособляемости дизеля на буксование лесосечных машин. Приведены результаты экспериментальных исследований на полигоны – 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

5. ДЕРЕВООБРАБОТКА И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Измельчитель коры

Бирман А.Р., Тамби А.А., Угрюмов С.А.

Введение

Известные исследования о возможности переработки коры, как ценного сырья для выработки различных видов продукции, доказывают целесообразность ее масштабной переработки и повышение экономической эффективности предприятий от ее вовлечения в производство товарной продукции.

Совокупные объемы отделяемой коры на лесопромышленных предприятиях достаточно велики. Так, например, при переработке древесины ели – содержание коры, не включаемое в общий баланс древесины, составляет 9,5%, при обработке сосны – 11,0%, при переработке березы – 14%, а при использовании в производственных процессах лиственницы – 18% [1, 2].

В настоящее время, большая часть коры используется для выработки тепловой энергии при сжигании в котельных установках, но до 20% от поступающего на предприятия вместе с круглыми лесоматериалами объема коры до сих пор не находит промышленного применения [3-4].

Основной проблемой, сдерживающей полезное применение коры, является сложность процессов её обезвоживания и измельчения. Обычно обезвоживание коры осуществляют механическим и тепловым способами.

Механическое обезвоживание осуществляют отжимом в валковых, винтовых, цепных и поршневых прессах до влажности 50-60%. Опыт отжима коры показал, что дальнейшее уменьшение влажности таким способом практически нецелесообразно.

При тепловом обезвоживании, в основном в барабанных сушилках, используют метод высокотемпературной сушки, который позволяет добиться снижения влажности коры до 10-15%. Однако способ затратен. Так, например, при сушке коры с влажностью 70% до влажности 10% в зимних условиях (при температуре коры $t = -15^{\circ}\text{C}$) требуется затратить 1100-1200 ккал тепла для получения 1 кг сухой коры [5].

Измельчение, обычно уже подсушенной коры, осуществляется на различных типах корорубок и молотковых мельниц [6].

Цель работы.

Конструктивная разработка агрегатной установки, позволяющей:

- осуществлять операции механического обезвоживания и измельчения коры в одном универсальном устройстве;

- обеспечить уменьшение размеров частиц измельчаемой коры;
- сократить требуемые производственные площади;
- повысить производительность труда за счет отказа от межоперационного перемещения обрабатываемых материалов;
- снизить себестоимость производства конечной продукции.

Разработка установки для измельчения коры.

Конструкция разработанной установки представлена на рис. 1.

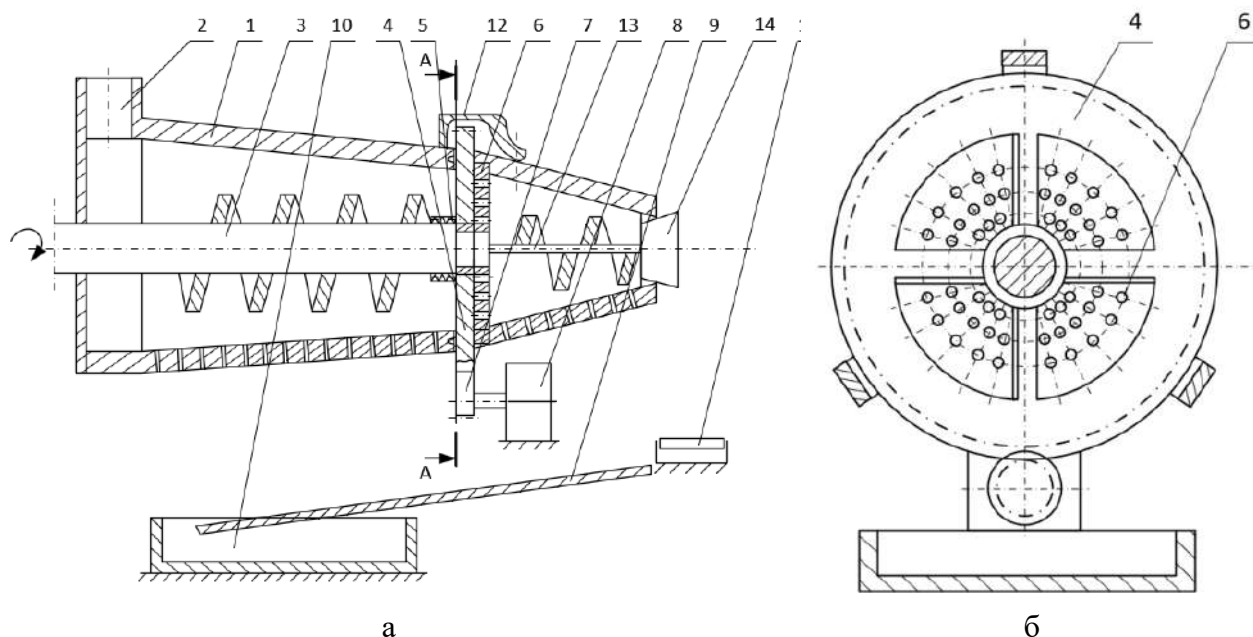


Рисунок 1. Измельчитель коры:

а – схема измельчителя; б – разрез А-А с видом на механизм резания

В загрузочную воронку 2 подают кору естественной влажности и продвигают ее приводным шнеком 3 (привод шнека на рис. 1 условно не показан) в направлении ножей кольцевой обоймы 4. В период продвижения коры в указанном направлении осуществляется первый этап ее обезвоживания отжимом до влажности 55-60%.

Отжатая кора поступает в механизм измельчения выполненный в виде соосных со шнеком ножей, жестко соединенных с кольцевой обоймой 4, на внешней поверхности которой выполнен зубчатый венец, входящий в зацепление с ведущей шестерней 7, вращение которой осуществляется отдельным приводом 8, обеспечивающим бесступенчатое регулирование числа оборотов ведущей шестерни, а значит и вращение ножей кольцевой обоймы 4. При этом, за счет усилия пружины 5, ножи находятся в плотном контакте с плоскостью контрножа 6, выполненного в виде стационарной перфорированной пластины.

По выходу измельченной коры из механизма измельчения проводят второй этап обезвоживания коры за счет ее уплотнения и отжима в коническом перфорированном корпусе 1 при перемещении, за счет усилий шнека 13, на

отрезке пути от механизма измельчения к выходному отверстию устройства, снабженного перфорированной заглушкой 14.

Выгрузка коры осуществляется на транспортер 11. Отжатая влага поступает в емкость 10.

Соединительные скобы 12 позволяют осуществлять разъем и последующую сборку корпуса 1, что необходимо для извлечения кольцевой обоймы 4 с ножами и контрножа 6 для их заточки.

При обработке в разработанном устройстве обезвоживание коры отжимом производят в два этапа – до и после измельчения. При этом при втором отжиме обрабатывается не крупно кусковая фракция коры, а ее измельченная масса, что априори приводит к интенсификации истечения влаги при отжиме.

Конечная величина влажности готового продукта может быть величиной регулируемой, например, при использовании известного технического решения по установке в просвете выходного отверстия корпуса 1 не заглушки 13, а конического регулятора размера выходного отверстия [3].

Результаты экспериментальных исследований.

В 2021 году в лаборатории кафедры технологии лесозаготовительных производств Санкт-Петербургского лесотехнического университета им. С.М. Кирова проведены испытания опытной установки, схема которой приведена на рис. 1. Рабочим материалом являлась полученная при барабанной окорке в зимнее время кора березовая с влажностью 55-60%. Исходные размеры частиц коры составляли: длина 40-60, ширина 12-15, толщина 4-5 мм. Результаты испытаний сведены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний

Число оборотов шнека, поз.3, в минуту	Число оборотов кольцевой обоймы, поз.4, в минуту	Размер частиц измельченной коры, мм
60	60	2,0-2,5
60	90	1,0-1,2
60	120	0,3-0,5

При исследованиях процесса сжигания коры в виде топливных брикетов доказано, что с уменьшением частиц прессуемой массы повышается плотность и прочность брикетов, рисунки 2, 3 [7-10]. Повышение плотности корьевых брикетов повышает стойкость их размеров и формы при хранении и транспортировке.

Вывод.

Внедрение предлагаемого универсального измельчителя позволит увеличить эффективность процесс подготовки коры к использованию и расширить области применения как свежей, так и лежалой коры.

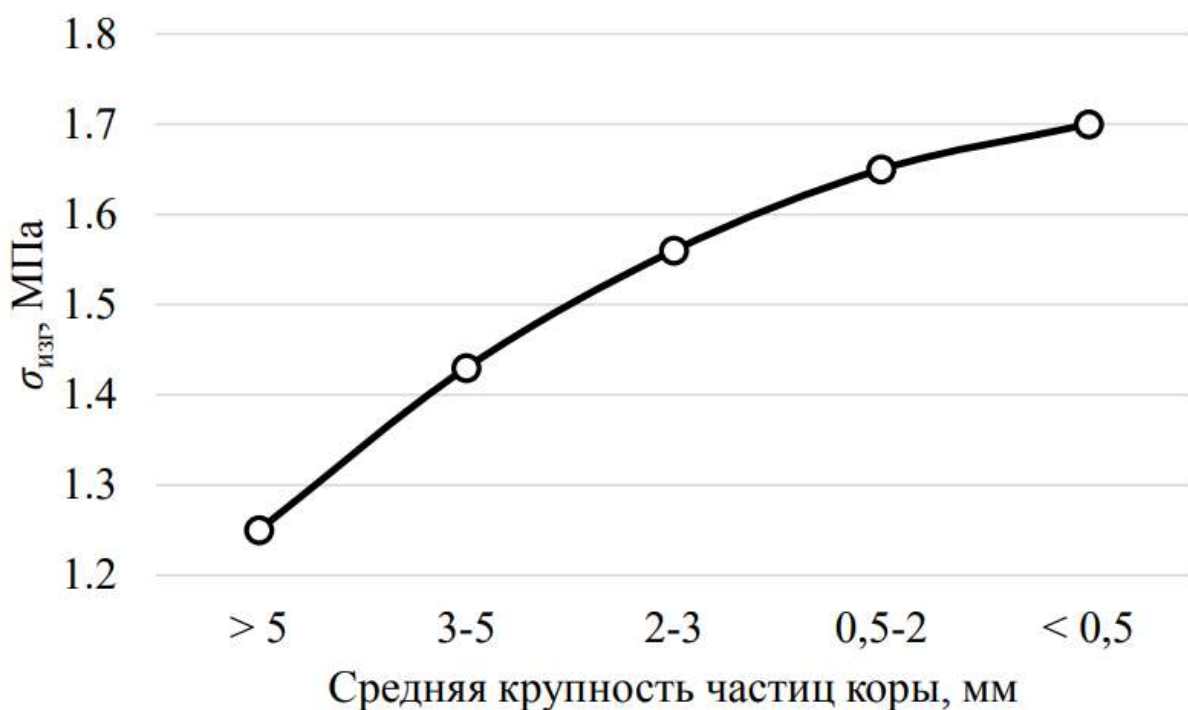


Рисунок 2. Влияние фракции коры на механическую прочность брикетов

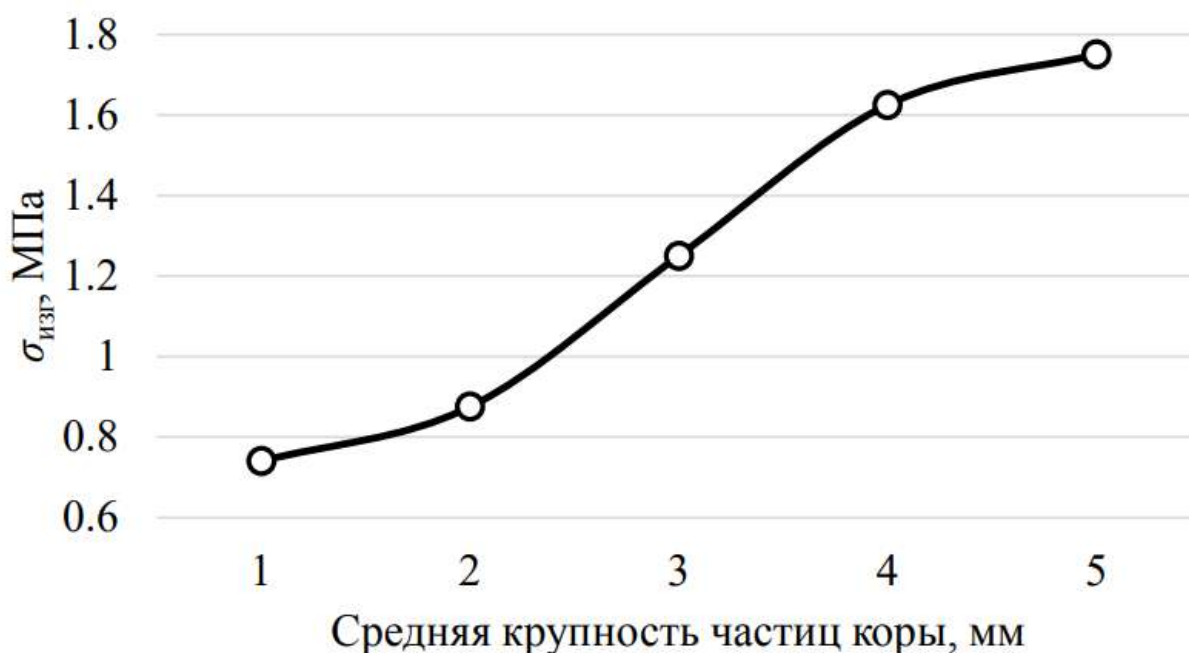


Рисунок 3. Влияние фракции коры на механическую прочность брикетов при прессовании на штемпельном прессе: 1 – щепы 100%; 2 – щепы 75%, стружка и опилки 25%; 3 – щепы 50%, стружка и опилки 50%; 4 – щепы 33%, стружка и опилки 67%; 5 – щепы 25%, стружка и опилки 75%; 6 – стружка и опилки 100%

Библиографический список

1. Житков А.В. Утилизация древесной коры. – Москва: Лесная промышленность. 1985. 136 с.
2. Бирман А.Р., Свойкин Ф.В., Угрюмов С.А., Свойкин В.Ф. Техника и технология утилизации короотвалов лесопромышленных предприятий // Ремонт, восстановление, модернизация. 2020. №6, С.10-15.
3. Копытков В.В., Охлопкова Н.П., Кондратенко О.В., Потапенко М.В., Наварич Е. Получение компостов с использованием отходов производств и их применение // Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов V Международной научной экологической конференции. – Краснодар: КГАУ. 2017. С. 177-179.

4. Fuentealba C., Salazar Montory J., Vega J., Norambuena-Contreras J. New Biobased composite material using bark fibres Eucalyptus // 13th Pacific Rim Bio-Based Composite Symposium. 2016. PP. 46-50.
5. Веретенник Д.Е. Использование древесной коры в народном хозяйстве. – Москва: Лесная промышленность. 1976. 120 с.
6. Гомонай М.В. Производство топливных брикетов. Древесное сырье, оборудование, технологии, режимы работы. – Москва: МГУЛ. 2006. 68 с.
7. Технология и оборудование лесных складов и лесообрабатывающих цехов: учебник / под. ред. В.И. Пятакина. – Москва: МГУЛ. 2008. 384 с.
8. Бастриков Д.В., Власов Ю.Н., Кучер С.В. Исследование энергоемкости измельчения отходов окорки установкой с ножевым рабочим органом // Лесотехнический журнал. 2018. Т. 8. № 1. С. 120-128.
9. Бастриков Д.В. Повышение энергоэффективности измельчения отходов окорки на оборудовании с ножевым рабочим органом: автореферат дисс. на соиск. уч. ст. канд. тех. Наук. – Воронеж: ВГЛТУ. 2018. 20 с.
10. Модин Н.А., Ерошкин А.Н. Брикетирование измельченной древесины и древесной коры. – Москва: Лесная промышленность. 1971. 112 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 | Тамби Александр Алексеевич |
| Организация | Арктический государственный агротехнологический университет |
| Адрес организации | 677007, Сергеляхское шоссе 3 км, д. 3, Якутск, Россия |
| SPIN-код | 2962-0864 |
| e-mail | a_tambi@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 |

Аннотация

На лесоперерабатывающих предприятиях РФ ежегодно формируется до 13 млн плотных м³ коры, большая часть которой сжигается в котельных, а 20%

не находит промышленного применения. Основной проблемой, сдерживающей полезное применение коры, является сложность процессов её обезвоживания и измельчения. Вследствие пористости и неравномерности структуры коры, эти процессы являются трудоемкими и характеризуются высокой стоимостью, что снижает и, зачастую, делает невозможной переработку коры по экономическим соображениям. В результате анализа способов и оборудования для обработки отходов коры предлагается разработка конструкции агрегатного устройства обезвоживания и измельчения коры. Приведено описание и принцип работы устройства, результаты экспериментального исследования процесса измельчения коры.

Ключевые слова: кора, измельчение, шнек, отжим, производительность; wood bark, grinding, auger, spin, productivity.

УДК 634.0.848.004

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.43.29

Вторичное использование изделий из древесины методом реставрации

Сабанцев Д.А., Угрюмов С.А.

Введение

Лес и продукция переработки древесины являются ценными ресурсами планеты, необходимыми для обеспечения жизни человека. В ходе лесозаготовки и деревопереработки на всех стадиях технологических процессов образуются разнообразные отходы (вершинная часть, ветви и сучья, пни, кусковые и измельченные отходы от механической обработки древесины) [1]. Ежегодно на предприятиях лесопромышленного комплекса образуется около 70...75 млн. м³ древесных отходов, при этом не более половины от этого объема вторично перерабатывается с выпуском востребованной продукции [2]. Остальная часть сжигается для производства теплоэнергии, а зачастую просто вывозится в отвалы и на поля запахивания для естественного перегнивания.

В последние годы остро назрела проблема повышения эффективности лесопромышленного комплекса с учетом внедрения ресурсосберегающих технологий и комплексного использования древесного сырья с минимизацией вредного воздействия на окружающую среду и здоровье человека. В этом направлении достигнуты существенные результаты. Так, низкокачественная древесина, а также кусковые отходы лесозаготовки и деревопереработки могут измельчаться в щепу и стружку с последующей выработкой плитных материалов или получением химических веществ путем гидролиза или пиролиза. С каждым годом расширяется ассортимент продукции, получаемой из всей биомассы дерева, включая кору, листву и хвою. Однако большинство технологий

применимо для использования на крупных производствах сырья в виде древесных отходов, стабильных по физико-механическим характеристикам и фракционному размеру. При использовании кусковых отходов, отличающихся по форме, размерам, плотности и породе возникает сложность их сортировки и дальнейшего использования. Данная проблема актуальна для производителей древесной продукции из ценных пород древесины – производство стульев, корпусной мебели, отделки интерьеров. Образующиеся отходы направлять на измельчение не эффективно, гораздо выгоднее их использовать при изготовлении нетрадиционных изделий интерьера или сувенирной продукции [3].

Существует множество вариантов вторичного использования отходов деревопереработки – производство древесных плит и иных прессованных материалов (в том числе композиционных) из мелкофракционных отходов, дизайнерских изделий из отходов с лесосечных работ и кусковых отходов производства, также отходы можно использовать в качестве топлива в исходном виде или в виде пеллет.

Особо остро вопрос переработки отходов стоит в сфере переработки продукции деревопереработки, отслужившей свой срок и утратившей функциональное назначение, прежде всего мебели и столярно-строительных изделий. Данный вопрос находится на стыке мебельной, деревообрабатывающей промышленности и экологии, поэтому ему должно уделяться особое внимание [4].

Цель работы – исследование вопроса реставрации мебельных изделий и иной продукции деревопереработки, как способа вторичного использования древесных изделий, утративших функциональные свойства.

Способы вторичной переработки мебели и столярно-строительных изделий.

Одной из главных отраслей деревообработки является производство мебельных изделий.

На сегодняшний день утилизация старой мебели осуществляется несколькими способами [5,6]:

- захоронение на полигонах-свалках;
- сжигание на специальных заводах;
- вторичная переработка мебели или ее отдельных составляющих, которым можно дать «вторую жизнь».

И захоронение, и сжигание имеют свои недостатки, так как наносят ущерб экологии окружающей среды, поскольку основная часть мебели из соображений экономии производится из клееных древесных материалов, при сжигании которых выделяются токсичные вещества.

Оптимальным способом утилизации крупногабаритной мебели и столярно-строительных изделий в настоящее время признается вторичная переработка. Это целый комплекс действий, состоящий из нескольких этапов:

- разборка и сортировка материалов, в ходе которой разделяют металлические части (болты, гайки, ручки и другая фурнитура), дерево, древесно-стружечные или древесноволокнистые плиты, пластиковые элементы, стекло;
- вторичная переработка разного рода материалов;
- уничтожение частей, непригодных для вторичной переработки, например, мягкой обивки диванов, кресел, стульев и т. д.

В идеале, переработаны для дальнейшего использования могут быть любые металлы, стекло, древесные материалы. Остатки, непригодные и для сжигания, мелко дробятся и прессуются с целью дальнейшего захоронения. Это делается для уменьшения объема, который в дальнейшем занимают отходы на свалке.

Одним из способов повышения эффективности использования продукции из древесины и повышение срока службы является реставрация старых изделий [7]. Реставрация в этом случае является шансом на новую жизнь для мебели, которая в прошлом была ценна по ряду причин, но со временем утратила свои свойства.

Процесс реставрации изделий из древесины.

Углубляясь в процесс реставрации, мы можем выделить несколько основных этапов, составляющих общий план на примере простого мебельного изделия. Первым пунктом является моделирование идеи и представления предполагаемого результата, его также можно назвать проектированием будущего изделия. После этого, подготовив все необходимое, можно начинать процесс демонтажа. Все нужно разобрать до последней детали и тщательно осмотреть каждую из них на предмет локальных повреждений. После этого согласовать план и выделить четкие недочеты, которые потом необходимо будет исправить. В качестве примера на рис. 1 представлен внешний вид предмета интерьера в исходном виде и в процессе реставрации.

Изделия с лакокрасочными покрытиями подлежат циклеванию, при этом рабочие поверхности очищаются специальными ножами. Это весьма сложная и ответственная работа, так как в старой мебели очень часто использовалось шпонирование поверхностей. Главной задачей здесь является не повредить старый шпон. Осуществляется циклевка при помощи специальных ножей в комплекте со строительным феном, который нагревает старые слои краски и лака, делая их пластичными и позволяет без труда снять старое покрытие, не повредив при этом шпоновую прослойку и поверхность мебели.



Рисунок 1. Реставрируемое изделие

Весьма часто необходимо использовать составы, растворяющие лак для очистки старых лаковых покрытий, так как часть резных деталей и непрямых поверхностей нельзя отциклевать равномерно. После циклевки необходимо оценить целостность деталей, при необходимости осуществить восстановление утраченных элементов.

Почти всегда в мебели, поступившей в реставрацию, встречаются механические дефекты, такие как сколы, выбоины, царапины, отсутствие мелких деталей. Могут быть разрушены и ключевые детали, например, ножка стола или подлокотник кресла. Обращая на это внимание нужно понимать, что восстановленные детали должны в точности повторять внешний вид и функционал разрушенной детали. Древесину необходимо выбирать той же породы, цвета и текстуры. Также древесина должна быть качественно просушена, для увеличения ее прочностных характеристик.

Одним из крайних мероприятий по реставрации мебели является сборка готового изделия. В процессе предания мебели конечного вида необходимо тщательнейшим образом подогнать каждую деталь. Не должно быть люфтов в механизмах, видимых повреждений, и отличий от оригинала.

После сборки изделие необходимо покрыть лакокрасочными материалами, которые будут подчеркивать текстуру древесины и защищать ее от воздействия внешних факторов.

Вывод.

Реставрация мебели и иных изделий из древесины является весьма доходным предприятием, так как большинство изделий имеют большую ценность как в культурном плане, так и для памяти конкретного заказчика. Реставрация позволяет вторично использовать продукцию из древесины и древесных материалов, утратившую функциональные свойства и уменьшить

негативное воздействие на окружающую среду, исключив или уменьшив необходимость вторичной переработки и утилизации.

Библиографический список

1. Плохотникова Г.В., Угаров И.А. Лесопромышленный комплекс России: состояние и пути оздоровления // Экономика и управление: материалы Всероссийской научно-практической конференции. – Новочеркасск: ДГАУ. 2021. С. 49-54.
2. Борзунова А.Г., Зиновьева И.С. Комплексная переработка древесного сырья, утилизация древесных отходов // Успехи современного естествознания. – 2012. № 4. С. 180-181.
3. Пилипенко О.В. Экологизация пространства через дизайн мебели // Наука и образование: проблемы и перспективы: материалы XXII международной научно-практической конференции. – Бийск: БГК, 2020. С. 224-228.
4. Переработка мебели: путь от инициатив до результата // Индустрия мебели, 2021. URL: <https://industry-mebel.ru/materials/pererabotka-mebeli-put-ot-initsiativ-do-rezultata> (дата обращения: 21.03.2022).
5. Что стоит за утилизацией старой мебели // Greenomak: экологические проблемы, 2018. URL: https://greenomak.ru/ekologicheskie-problemy/___trashed-46.html (дата обращения: 21.03.2022).
6. Романова А.Ю., Ковалева М.А. Утилизация и вторичное использование отходов производства корпусной мебели // Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых, аспирантов и студентов. – Томск: НИТПУ. 2014. С. 139-141.
7. Сахно А.И., Жук Ю.А. Реставрация и декорирование старой мебели как способ сохранения лесов России // Проблемы и перспективы устойчивого развития промышленности в XXI веке: от теории к практике: материалы студенческой конференции. – Санкт-Петербург: СПбГЛТУ. 2021. С. 92-95.

Сведения об авторах

ФИО	Сабанцев Данил Антонович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	sabancevdanil999@gmail.com
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

Аннотация

В статье приведен анализ способов вторичного использования древесных отходов и изделий из древесины, отслуживших срок эксплуатации. Обоснован процесс реставрации мебельных изделий и иной продукции деревопереработки, как способа вторичного использования древесных изделий, утративших функциональные свойства. Рассмотрены основные технологические этапы

реставрации на примере мебельного изделия. Установлено, что реставрация мебели и иных изделий из древесины является весьма доходным предприятием, так как большинство изделий имеют большую ценность как в культурном плане, так и для памяти конкретного заказчика. Реставрация позволяет вторично использовать продукцию из древесины и древесных материалов, утратившую функциональные свойства и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду, исключив или уменьшив необходимость вторичной переработки и утилизации.

Ключевые слова: реставрация, переработка, изделия из древесины, мебель, столярно-строительные изделия, древесные отходы; restoration, recycling, wood products, furniture, joinery, wood waste.

УДК 684.4.05

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.37.91

Влияние формы заготовки на форму получаемого изделия

Хрусталева И.В.

Введение

Для процесса прокатки древесины характерны некоторые особенности, которые необходимо учитывать. Прежде всего: в процессе сжатия древесины имеется одновременное действие упругой и пластической деформаций, при этом зависимости между напряжением и деформациями нелинейные. Древесина обладает ярко выраженными реологическими свойствами, т.е. ее свойства меняются во времени и зависят от скорости деформации. Древесина обладает анизотропными свойствами [1].

Цель исследования – определение влияния формы заготовки на размеры и форму получаемого изделия.

Методика исследования

В ходе проведения эксперимента было хорошо видно, что форма большинства изделий далека от прямоугольной. Такое отклонение вызвано в первую очередь цилиндрической формой заготовки. Однако, возможны другие причины: выпучивание материала при сдавливании, деформирование только наружных слоев древесины, сдавливание до значительного давления жидкости в центральной части заготовки, а затем после прокатки восстановление до нормального давления с разбуханием древесной массы и т.д.

Было проведено исследование с помощью разработанной ранее математической модели [2]. Были сделаны следующие допущения:

Во-первых, будем рассматривать процесс прокатки в клети с одной парой валков, что позволяет практически исключить появление деформации от сдавливания в перпендикулярном направлении;

Во-вторых, при выборе расчетной схемы (рис. 1) предполагалось, что отсутствует взаимное влияние соседних частей, т.е. выполняется принцип независимости деформации отдельных частей. В исследовании принималось число частей равным 10;

В-третьих, для исследования были выбраны размеры заготовки и порода, соответствующие эксперименту, что позволило произвести еще и экспериментальную проверку полученных решений.

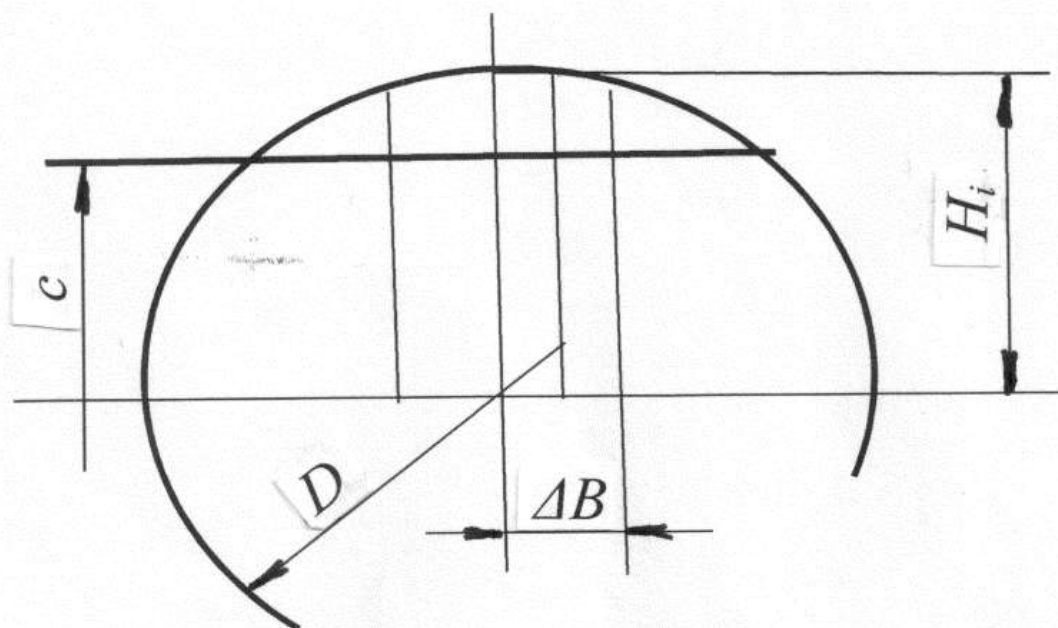


Рисунок 1. Расчетная схема для исследования формы получаемого изделия:

D – диаметр заготовки, c – размер пропускного окна в установке,

ΔB – ширина выделенной части, H_i – высота выделенной части

На рис. 2 представлены некоторые результаты расчетного исследования.

Хорошо видно, что центральная часть, испытывающая наибольшую степень деформации, имеет наибольший размер, а форма профиля далека от плоской. Величина отклонения зависит от влажности и степени деформации, поэтому затруднительно выявить общие закономерности. В каждом конкретном случае необходимо либо расчетным путем, либо экспериментально профилировать валки. Так как профиль будет постоянным в процессе прокатки, то необходим набор (комплект) валков для прокатки древесины различных пород и влажности, а также для заготовок различных размеров.

Следует обратить внимание на то, что возможно и не требуется идеальный плоский профиль, так в процессе сборки сложных конструкций происходит деформирование и площадь контакта увеличивается.

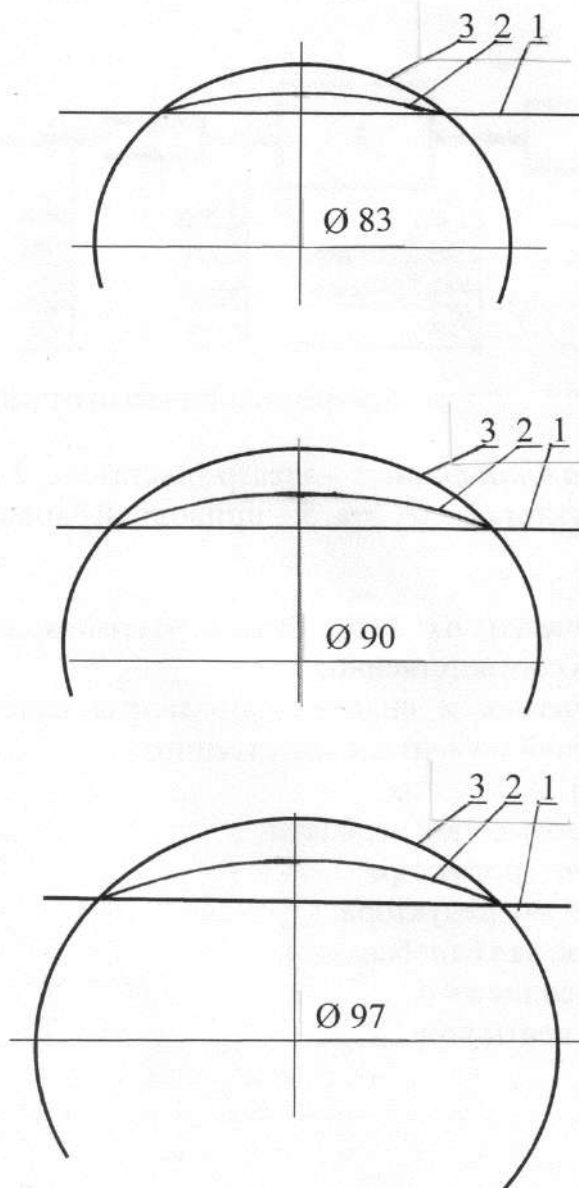


Рисунок 2. Результаты расчетов:

1 – требуемый размер; 2 – действительный профиль; 3 – исходный профиль

Вторая причина, почему нельзя делать плоский профиль изделия, заключается в том, что получение при прокатке острых кромок в углах сечения вызывает большие напряжения и приводит к разрушению годичных слоев и к нарушению качества изделий. Такие же явления наблюдаются и в процессе прессования древесины в жесткие формы.

В целом, теоретический анализ подтверждает, что форма заготовки – это основная причина отклонения профиля от плоского и доказывает, что прокатка древесины без настройки оборудования возможна только для узкого диапазона изменения параметров заготовки. Уточнение зоны варьирования возможно, как теоретическим, так и экспериментальным путем при условии установления допустимых отклонений формы.

Выводы.

Для процесса прокатки древесины характерны некоторые особенности. На окончательную форму детали и ее качество значительное влияние оказывает исходная влажность заготовки, первоначальная форма заготовки, что, в свою очередь требует либо профилирования поперечного сечения валков, либо корректировки настройки межвалкового расстояния в процессе прокатки

Библиографический список

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. - 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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8636-3860
e-mail innessachrustaliova@gmail.com

Аннотация

Окончательная форма детали и ее качество зависит от ряда факторов, в том числе от исходной влажности заготовки, первоначальной формы заготовки. Для получения необходимой формы детали требуется либо профилировать поперечное сечение валков, либо корректировать настройки межвалкового расстояния в процессе прокатки.

Ключевые слова: древесина, прокатка, деформация, напряжения, форма детали.

УДК 621.771.06

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 53.43.13

Расчет армированной балки для сооружения переправ на лесных дорогах

Бызов В.Е., Бирман А.Р., Угрюмов С.А., Зубова О.В., Локштанов Б.М.

Введение

В последние десятилетия происходит возрождение практики строительства мостов из лесоматериалов, которые по многим показателям превосходят мостовые сооружения из бетона и стали. Их применение на автодорогах предусмотрено [1], а строительство регламентируется [2].

Для элементов мостовых конструкций применяют древесину I-II сорта сосны, ели, лиственницы, пихты, удовлетворяющую требованиям ГОСТ 9463-88

и ГОСТ 8486-86Е. Применяя древесину, следует учитывать влияние основных недостатков деревянных мостовых сооружений, а именно: загнивание древесины, не плотности в сопряжениях конструктивных элементов, механический износ (для настила проезжей части). Влияние указанных недостатков и способы их устранения изложены в литературе [3]. Однако устранение существенного недостатка – ограничение прочности несущих пролетных балок за счет естественного ограничения размеров их поперечного сечения – практически невозможно. И в первую очередь это касается деревянных переправ на лесосеках СЗФО, где реальный диаметр сечений здоровой древесины редко превышает 26-30 см.

Цель работы – расчет конструктивных параметров мостового сооружения на основе армированных деревянных балок применительно к условиям переправ лесовозного транспорта.

Расчет мостового сооружения

Выполним расчет мостового сооружения, уложенного на две продольные деревянные балки, охваченные стальным канатом. Примем типичные условия работы для мостового сооружения длиной $l = 6$ м, по которому перемещается трелевочный трактор ТДТ-55 весом 9600 кгс. и длиной 5800 мм. Интенсивность равномерно распределенной нагрузки q от веса трактора на поверхность моста составляет 16237 Н/м или 8118,5 Н/м на одну балку. Схема нагружения двухопорной балки, загруженной равномерно-распределенной нагрузкой представлена на рис. 1.

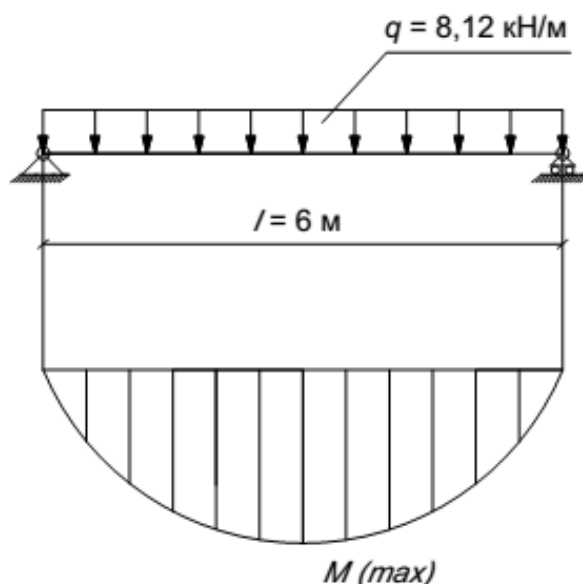


Рисунок 1. Схема нагружения балки:

q – интенсивность нагрузки на балку, Н; l – длина балки, м; $M (max)$ – максимальный изгибающий момент, Н·м.

Нормальные напряжения, возникающие в элементе при изгибе:

$$\sigma = \frac{M}{W}, \text{ МПа}, \quad (1)$$

где M – максимальный изгибающий момент; W – момент сопротивления поперечного сечения балки.

Принимаем, что порода древесины балки – сосна второго сорта по [4]. Расчетное сопротивление изгиба $R_{и}^A$ равняется 21 МПа [4]. Допускаемое сопротивление, применяемое для расчетов $R_{и}$:

$$R_{и} = R_{и}^A \cdot m_{дл} \cdot m_{п} \cdot m_{в}, \text{ МПа}, \quad (2)$$

где $R_{и}^A$ – расчетное сопротивление; $m_{дл}$ – коэффициент, учитывающий длительность воздействия нагрузки, $m_{дл} = 0,66$; $m_{п}$ – коэффициент, учитывающий породу древесины, $m_{п} = 1$; $m_{в}$ – коэффициент, учитывающий условия эксплуатации, $m_{в} = 0,85$.

$$R_{и} = 21 \cdot 0,66 \cdot 1 \cdot 0,85 = 11,78 \text{ МПа}.$$

Исходя из возможности получения балки из круглых лесоматериалов, принимаем размеры ее поперечного сечения 200x200 мм и находим величину максимального изгибающего момента:

$$M = q \cdot l^2 / 8 \quad (3)$$

где q – интенсивность равномерно-распределенной нагрузки; l – пролет, м.

$$M = 8118,5 \cdot 6^2 / 8 = 36533 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Момент сопротивления рассчитывается по формуле:

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6}, \text{ м}^3, \quad (4)$$

где b – ширина сечения; h – высота сечения.

Тогда момент сопротивления поперечного сечения составляет:

$$W = \frac{0,2 \cdot 0,2^2}{6} = 0,00133, \text{ м}^3.$$

Нормальные напряжения при изгибе балки, рассчитанные по формуле (1), составляют 27,47 МПа, что намного превышает значение допускаемого напряжения. Однако конструкция моста в целом предусматривает присутствие в плоскости изгиба балок предварительно натянутого металлического троса, который принимает на себя растягивающие напряжения в конструкции. Поэтому деформация балки в растянутой зоне не превышает деформации металлического каната, возникающей от нагрузки, которая появляется при изгибе балки.

Величина прогиба балки под действием нагрузки:

$$f = \frac{5P \cdot l^3}{384 \cdot E \cdot J}, \text{ м}, \quad (5)$$

где P – величина приложенной к балке точечной нагрузки; l – пролет балки; E – модуль упругости древесины; J – момент инерции поперечного сечения балки.

Величина точечной нагрузки на балку, приложенной на середине ее длины, равняется $P = q \cdot l = 8118,5 \cdot 6 = 48711$ Н.

Расчетное значение модуля упругости древесины находим в соответствии с требованиями нормативно-технической документации по формуле:

$$E''_н = E_{ср}'' \cdot m_{дл} \cdot m_{п} \cdot m_{в}, \text{ ГПа.} \quad (6)$$

где $E_{ср}''$ – средний модуль упругости древесины, $E_{ср}'' = 11,0$ ГПа; $m_{дл}$ – коэффициент, учитывающий длительность воздействия нагрузки, $m_{дл} = 0,9$;

Тогда расчетное значение модуля упругости древесины:

$$E''_н = 11,0 \cdot 0,9 \cdot 1 \cdot 0,85 = 8,4 \text{ ГПа.}$$

Момент инерции поперечного сечения балки:

$$J = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{0,2 \cdot 0,2^3}{12} = 0,00013, \text{ м}^4, \quad (7)$$

Величина прогиба балки a на середине ее длины:

$$f = \frac{5 \cdot 48711 \cdot 6^3}{384 \cdot 8,4 \cdot 10^9 \cdot 0,00013} = 0,125 \text{ м} = 125 \text{ мм.}$$

Условно считаем, что поперечное сечение балки поворачивается на угол α , тангенс которого равняется отношению величины прогиба к половине длины пролета (рис. 2).

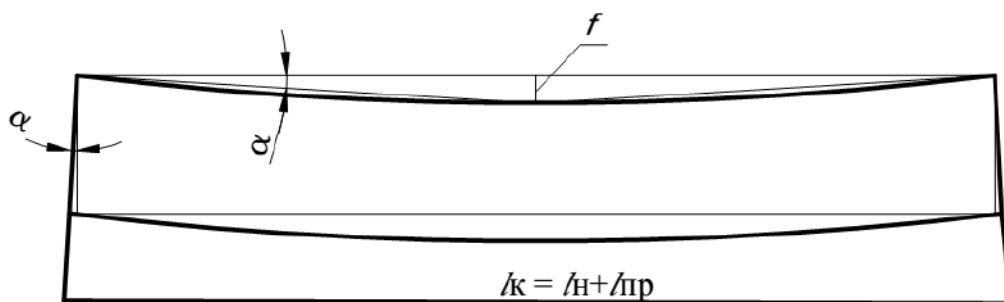


Рисунок 2. Схема изгиба балки и увеличения длины каната:

f – прогиб балки; α – угол поворота поперечного сечения балки.; l_k – конечная длина каната; l_n – начальная длина каната; $l_{пр}$ – приращение длины каната

На торцах балки располагаются металлические пластины, длину которых примем 250 мм. При изгибе балки ее торцы и, соответственно, пластины поворачиваются. При этом расстояние, на которое могут передвинуться нижние края пластин, составляет не более величины удлинения каната. Угол α , на который повернется поперечное сечение балки, равняется $\alpha = \arctg 0,0417 = 2,4$

град. Тогда расстояние, на которое передвинутся нижние края пластин, будет составлять для каждой пластины 10 мм. Суммарное расхождение нижних концов пластин составляет 20 мм.

Однако изменение величины расстояния между пластинами не может превышать деформации растяжения металлического каната. Выбираем канат из стали марки Ст.45. Предел прочности стали Ст.45 на растяжение $R = 610$ МПа. Модуль упругости составляет $220 \cdot 10^{12}$ Па. Рассчитанные нормальные напряжения в растянутой зоне элемента из древесины составляют 27,47 МПа. Такое же напряжение возникает в канате.

Для нахождения величины относительной деформации металлического каната воспользуемся законом Гука:

$$\varepsilon = \frac{\sigma_p}{E}, \quad (8)$$

где σ_p – напряжения, возникающие при растяжении стального каната; E – модуль упругости стали.

Таким образом, величина относительной деформации составляет $0,123 \cdot 10^6$. Первоначальная длина нижней ветви каната равняется 6000 мм. Тогда приращение длины каната находим по формуле:

$$l_{пр} = \varepsilon \cdot l_n, \quad (9)$$

где ε – относительная деформация растяжения каната; l_n – начальная длина каната.

В соответствие с расчетами, приращение длины каната составляет 0,738 мм. В связи с этим нормальные напряжения не достигают предельных значений и элемент не разрушается при имеющейся нагрузке.

На втором этапе расчетов определяем диаметр каната выдерживающего усилия растяжения от нагрузки, возникающей при изгибе элемента. Устанавливаем двукратный запас прочности каната и допускаемые напряжения принимаем равными значению 300 МПа.

Для конструкции принимаем стальной канат марки ТК 7x19=133 с металлическим сердечником по ГОСТ 3067 [5] и диаметром каната равным 5,2 мм. Площадь поперечного сечения составляет каната $0,000086$ м². Допускаемое усилие растяжения каната составляет 14400 Н. В соответствии с [5] для стального каната марки ТК 7x19=133 диаметром 5,2 мм установленное расчетное разрывное усилие составляет 17100 Н.

Заключение.

Проведенный расчет показал, что конструктивный элемент на основе армированных стальным канатом деревянных балок обладает необходимой прочностью применительно к условиям переправ лесовозного транспорта.

Библиографический список

1. СНиП 2.05.03-84 Мосты и трубы. – Москва: Госстрой России. 2005. 239 с.
2. СНиП 3.06.04-91. «Мосты и трубы». Актуализированная редакция СП 46.13330.2012. – Москва: Госстрой России. 1991. 170 с.
3. Кощев А.А. Разработка конструктивных и технологических решений деревянных балок с криволинейным тросовым армированием: автореф. дис. на соиск. уч. ст канд. техн. наук. – Архангельск: САФУ. 2021. 20 с.
4. Щуко С.А., Смирнов Е. А., Евдокимов А.В. Оптимальное армирование клееных деревянных балок на части длины // Тезисы докладов научно-технической конференции «Повышение качества строительства автодорог в Нечерноземной зоне РСФСР». – Владимир: ВГТУ. 1987. С. 50-52.
5. ГОСТ 8486-86 Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия. – Москва: Стандартинформ. 2006. 6 с.
6. ГОСТ 3070-88 Канат стальной двойной свивки типа ТК. – Москва: Стандартинформ. 2006. 3 с.

Сведения об авторах

- | | |
|--------------------------|---|
| ФИО | Бызов Виктор Евгеньевич |
| Организация | Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова |
| Адрес организации | 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия |
| SPIN-код | 4545-5303 |
| e-mail | marana@inbox.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 |
| 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 | Зубова Оксана Викторовна |
| 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 Локштанов Борис Моисеевич
Организация Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного
Адрес организации 194064, Тихорецкий проспект, д.3, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4014-2820
e-mail blokshtanov@mail.ru

Аннотация

В статье представлен расчет конструктивных параметров мостового сооружения на основе армированных деревянных балок применительно к условиям переправ лесовозного транспорта через мостовое сооружение длиной 6 м, по которому перемещается трелевочный трактор ТДТ-55 весом 9600 кгс. и длиной 5800 мм. Исходя из возможности получения балки из круглых лесоматериалов, принимаем размеры ее поперечного сечения 200х200 мм, при этом нормальные напряжения при изгибе балки составляют 27,47 МПа, что намного превышает значение допускаемого напряжения. Конструкция моста предусматривает присутствие в плоскости изгиба балок предварительно натянутого металлического троса, который принимает на себя растягивающие напряжения в конструкции. Поэтому деформация балки в растянутой зоне не превышает деформации металлического каната, возникающей от нагрузки, которая появляется при изгибе балки. Приращение длины каната составляет 0,738 мм, в связи с этим нормальные напряжения не достигают предельных значений и элемент не разрушается при имеющейся нагрузке. Проведенный расчет показал, что конструктивный элемент на основе армированных стальным канатом деревянных балок обладает необходимой прочностью применительно к условиям переправ лесовозного транспорта.

Ключевые слова: мостовое сооружение, лесоматериалы, деревянная балка, армирование, стальной канат, нагрузка, изгиб, прочность; bridge structure, timber, wooden beam, reinforcement, steel rope, load, bending, strength.

УДК 674.81

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.43.29

Конструкция несущей строительной балки

Зубова О.В., Бирман А.Р., Угрюмов С.А., Тамби А.А.

Введение

Опыт строительства деревянных мостов, накопленный инженерами предыдущих столетий, постепенно незаслуженно забывается, хотя многие
438

деревянные мосты, возведенные в XVI-XVIII веках, используются и в настоящее время [1].

В РФ на федеральных автодорогах по состоянию на 2000-ый год эксплуатировалось 82 деревянных моста, а на территориальных автодорогах 72 субъектов РФ – 8254 моста, что составляет четверть от всех мостовых сооружений страны [2]. И это число многократно увеличится, если к нему добавить деревянные переправы лесных дорог и волоков.

Учитывая вышеизложенное, а также доказанную экономическую целесообразность деревянного мостостроения, по всему миру возникло направление по повышению прочности несущих деревянных балок их армированием. Это позволяет экономить базовый материал конструкции, повышать прочность, жесткость балок и их эксплуатационную надежность [3].

Цель работы.

Создание новой конструкции несущей армированной строительной балки, изготовление которой отличается малой трудоемкостью, простотой изготовления и обслуживания, снижением использования видов технологического оборудования и расходных материалов, снижением себестоимости конечной продукции.

Разработка конструкции несущей армированной строительной балки.

По нашему мнению, наиболее приемлемым известным армирующим элементом являются стальные канаты. Канаты, как армирующий элемент, обладают большим пределом прочности по сравнению с горячекатаной сталью и композитными материалами [4, 5]. На рис. 1 представлена конструкция несущей строительной балки, армированной стальным канатом.

Деревянную балку 1 устанавливают на опорах 5, выполненных с пазом для пропуска металлического каната 3 (рис. 1, а). При нагружении балки 1 силой F возможен её прогиб на величину, пропорциональную величине силы F . Однако величина прогиба балки 1 ограничена, так как развитие деформации изгиба балки 1 приводит к повороту металлических накладок 2 на некоторый угол α , а значит и растяжению на величину $2l$ (рис. 1, в) металлического каната 3, предварительно натянутого устройством натяжения каната 4 и огибающего балку 1 и металлические накладки 2 по замкнутой траектории.

Таким образом, изгибная прочность балки 1 определяется прочностью на растяжение каната, которая выбирается по условиям максимального нагружения балки 1 силой F .

Снабжение торцов балки жестко скрепленными с ними металлическими накладками повышает прочность торцевой поверхности балки при передаче осевых усилий от каната на древесину балки, а расположение нижнего горизонтального среза накладок на некотором расстоянии от нижней грани

балки обеспечивает минимизацию деформации балки, так как нарастание ее изгиба, при нарастании нагрузки F , сопровождается поворотом торцевых накладок на некоторый угол α и, как следствие, растяжением каната нижними срезами накладок.

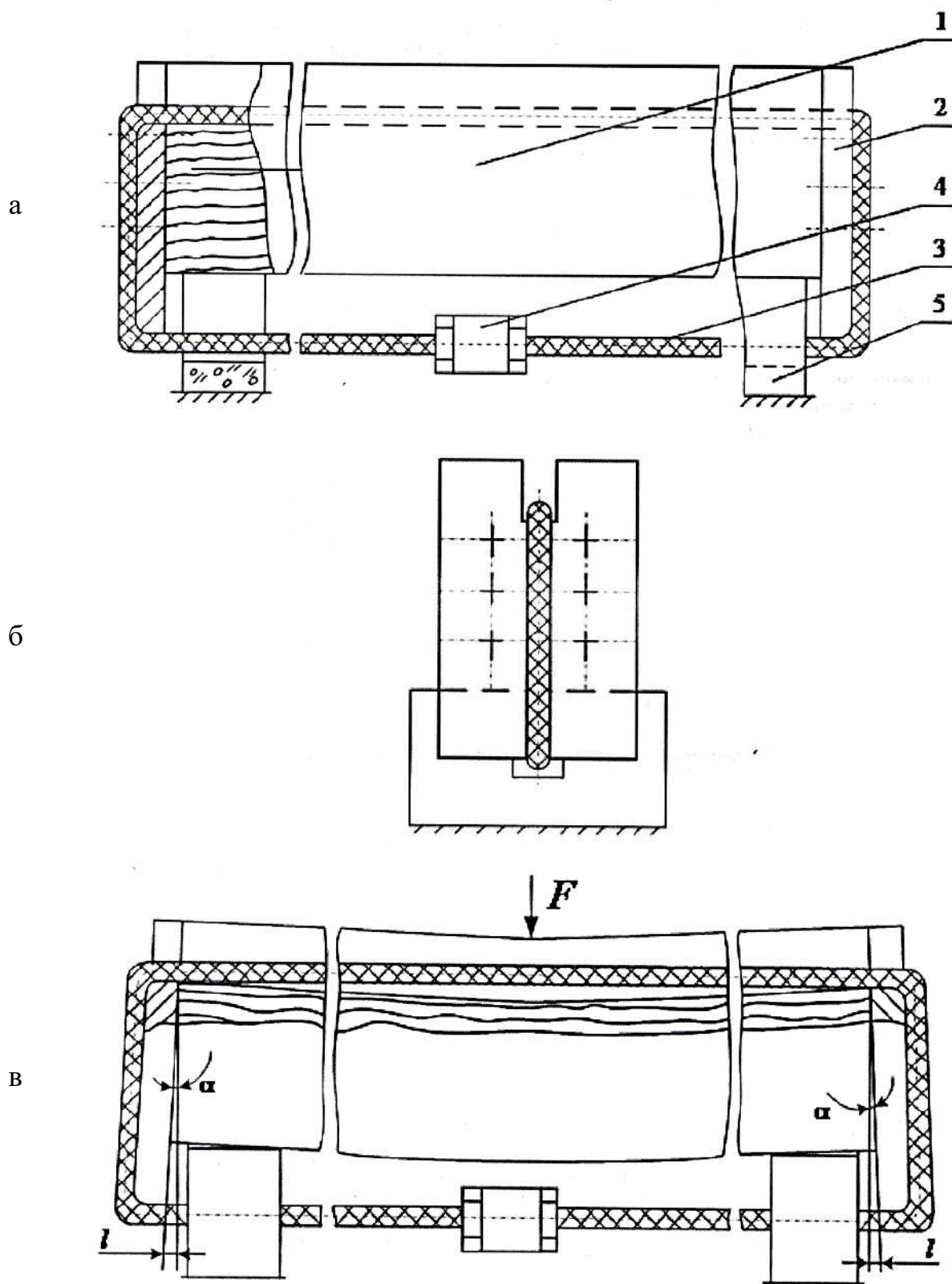


Рисунок 1. Несущая строительная балка:
 а – балка до нагружения; б – вид слева; в – нагруженная балка

Величина растяжения каната, а значит и деформации изгиба балки ограничены и зависят от прочности используемого каната. Зная величину нагрузки на несущую балку, можно рассчитать искомые параметры каната, обеспечивающие прогиб балки в пределах упругости, то есть без ее разрушения.

Свободное, а не вклеенное размещение каната в пазах балки и накладок обеспечивает простоту сборки несущей конструкции. Выполнение глубины пазов с размером, превышающим величину диаметра используемого каната, обеспечивает отсутствие непосредственного контакта груза, размещенного на несущей балке, и каната. Контакт груза будет происходить только с верхней гранью балки.

Выполнение деревянной балки с поперечным сечением отличным от прямоугольного, например, из круглых лесоматериалов может удешевить ее изготовление и снизить материалоемкость балки.

На практике можно рекомендовать выполнение металлических накладок в виде короба (башмака), охватывающего периферийные (приопорные) части балки, что обеспечит повышение жесткости скрепления накладок с балкой, а также дополнительно увеличивает изгибную прочность балки.

Заключение.

Особенности описанной конструкции несущей балки открывают широкие возможности её использования в объектах строительства различного назначения, в первую очередь для устройства переправ при прокладке лесовозных дорог, где в качестве балки могут быть использованы сортименты, имеющие круглое сечение. При этом изготовление балок требуемой длины возможно как на местах, так и в производственных условиях.

Библиографический список

1. Стельмах С.А., Щербань Е.М., Халюшев А.К., Холодняк М.Г. Строительные материалы и изделия из древесины. – Ростов-на-Дону: ДГТУ. 2017. 147 с.
2. Абрамов Д.А. Пособие по расчету сечений балочных деревянных мостов с разбросанными прогонами. – Москва: Союздорнии, 1998. 125 с.
3. Кошечев А.А. Разработка конструктивных и технологических решений деревянных балок с криволинейным тросовым армированием. Автореф. дис. на соиск. уч. ст канд. техн. наук. – Архангельск: САФУ, 2021. 20 с.
4. Рощина С.И., Лукин М.В., Сергеев М.С., Глебова Т.О., Кошечев А.А. Армирование деревянных балок стальной тросовой арматурой по криволинейной траектории в зонах анкеровки. Анализ напряженного состояния и технологических перспектив // Бюллетень строительной техники. 2017. № 6 (994). С. 80-81.
5. Кошечев А.А., Рощина С.И. Эффективность прямолинейного армирования деревянных балок перекрытий стальной тросовой арматурой без предварительного натяжения // Системы. Методы. Технологии. №2 (50). 2021. С.100-105.

Сведения об авторах

ФИО

Зубова Оксана Викторовна

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 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 Тамби Александр Алексеевич
Организация Арктический государственный агротехнологический университет
Адрес организации 677007, Сергеляхское шоссе 3 км, д. 3, Якутск, Россия
SPIN-код 2962-0864
e-mail a_tambi@mail.ru

Аннотация

В статье предложена новая конструкция несущей армированной строительной балки, изготовление которой отличается малой трудоемкостью, простотой изготовления и обслуживания, снижением использования видов технологического оборудования и расходных материалов, снижением себестоимости конечной продукции. Деревянная балка устанавливается на опорах, выполненных с пазом для пропуски металлического каната. При нагружении величина прогиба балки ограничена, так как развитие деформации изгиба приводит к растяжению металлического каната, предварительно натянутого и огибающего балку по замкнутой траектории. Таким образом, изгибная прочность балки определяется прочностью на растяжение каната,

которая подбирается по условиям максимального нагружения. Данная конструкция может эффективно использоваться в объектах строительства различного назначения, в первую очередь для устройства переправ при прокладке лесовозных дорог, где в качестве балки могут быть использованы сортименты, имеющие круглое сечение.

Ключевые слова: деревянная балка, армирование, стальной канат, нагружение, прочность, изгиб; wooden beam, reinforcement, steel rope, loading, strength, bending.

УДК 674.81

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.43.29

Анализ факторов, влияющих на процесс сушки пиломатериалов

Турбал Е.Ю., Шифрин Б.М., Елисеев И.В.

Введение

Сушка древесины необходима для предотвращения ее дальнейшего гниения из-за большого количества влаги, которая при жизни питает дерево. Влага способствует развитию микроорганизмов, разрушающих строение древесины. Для практического использования древесины её необходимо высушить до влажности минимум 24%, так как при данной влажности развитие микроорганизмов прекращается. Также высушенная древесина имеет лучшие физико-механические показатели [1]. По принципу функционирования сушильное оборудование бывает непрерывного и периодического действия [2]. В нашем случае для рассмотрения была выбрана сушильная камера периодического действия: EcoWood 50 [3].

Основные факторы, влияющие на процесс сушки пиломатериалов.

- Температура агента сушки;
- Скорость воздушного потока;
- Влажность на улице;
- Температура на улице;
- Начальная влажность пиломатериала;
- Порода древесины;
- Толщина высушиваемого пиломатериала;
- Требуемая категория качества сушки;
- Тип сушильной камеры;
- Агент сушки.

Скорость воздушного потока.

При высушивании пиломатериалов одним из главных требований к потоку воздуха является равномерность его подачи по всей высоте и ширине штабеля с

одинаковыми показателями на всей длине канала. Это необходимо для равномерного просыхания древесины во всем пакете, во избежание возможных дефектов сушки, таких как покоробленность, неравномерность высушивания и других поражающих древесину, грибки и микроорганизмы.

Температура агента сушки.

Оптимальная температура сушки пиломатериалов от 60 до 85 °С для мягкого и нормального режима, 95-125 °С для форсированного [4]. Температуры больше 140 °С нельзя использовать, так как они будут вызывать пиролиз древесины, то есть ее горение и разрушение, а соответственно и дальнейшее возгорание штабеля и сушильной камеры.

Толщина высушиваемых пиломатериалов.

Важным фактором сушки пиломатериалов является их толщина, которая определяет используемую температуру, время сушки, размеры штабеля и т.д., а, следовательно, и режим сушки. Так, например, при сушке 25 мм доски из сосны влаготеплообработка составляет 2 ч, а при толщине 65 – 14 ч, что в дальнейшем влияет на общее время сушки пиломатериалов. Напротив, температура для сушки более тонкого пиломатериала должна быть выше, чем для сушки более толстого. К примеру, для 25 мм доски температура 130 °С, а для 60 мм – 108 °С.

Влажность и температура на улице.

Помимо предыдущих факторов стоит иметь в виду и погодные условия, влияющие на процесс сушки. При температуре воздуха -15 °С сушка будет проходить дольше, нежели при температуре окружающей среды 35 °С [5, 6]. Помимо этого, влагоемкость агента сушки увеличивается с повышением температуры. При температуре 0 °С влагоемкость составляет 4,8 г/м³, при 40 °С – 51,1 г/м³, что сильно влияет на продолжительность и процесс сушки.

Порода высушиваемой древесины.

Есть множество таблиц, в которых видно, какие параметры необходимы для сушки хвойных и лиственных пород, и как они отличаются. Также имеется множество расчетов, в которых видно, что характеристики режимов сушки хвойных и лиственных пиломатериалов отличаются друг от друга из-за разного строения древесины [6]. Помимо этого, отдельно разработаны режимы для лиственницы, бука и др. ввиду их ценности и сложности сушки.

Следует также отметить и параметры, при которых будет проходить аварийное отключение сушильной камеры.

Температура 140°С и более.

При данной температуре начинает происходить пиролиз древесины, что в дальнейшем может привести к её возгоранию. Поэтому датчики температуры будут настроены на температуру 140 °С. При превышении данной температуры датчики будут сигнализировать на пульт управления и прекращать подачу тепла

выключением вентиляторов. В течении некоторого времени температура в сушильной камере опустится до необходимых значений, и система включит подачу тепла, продолжив процесс сушки.

Возгорание.

При возгорании датчики пожарной сигнализации информируют пульт управления сушильной камерой, закрывают приточно-вытяжные каналы и выключают подачу тепла, принимаются меры по тушению пожара.

Для безопасности сушки в камеры следует устанавливать противопожарную систему, состоящую из форсунок с подачей воды и температурных датчиков, установленных на определенную температуру. При превышении заданной температуры датчики информируют о возгорании и открывают подачу воды для тушения.

Выход из строя систем сушильной камеры.

Для обеспечения стабильной и эффективной работы сушильной камеры необходимо своевременно ее обслуживать во избежание возможных поломок. Перед каждым запуском необходимо проверять противопожарную систему, циркуляционное, вентиляционное, транспортное и контрольно-измерительное оборудование.

На основе вышеперечисленных факторов составим структурную схему процесса сушки пиломатериалов (рис. 1).



Рисунок 1. Структурная схема

На структурной схеме видны связи входных и управляемых параметров. В таблице 1 рассмотрено влияние породы, толщины пиломатериалов и текущей влажности на температуру сушки [6].

Таблица 1. Температура сушки

	порода	толщина	Влажность		Режим температуры		
Если	Сосна, Ель	22-30	$W_H = > 30\%$	то	3Г	$t=75^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=7$
			$W 30-20\%$			$t=80^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=11$
			$W < 20\%$			$t=100^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=31$
		30-40	$W_H = > 30\%$		3В	$t=75^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=5$
			$W 30-20\%$			$t=80^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=9$
			$W < 20\%$			$t=100^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=29$
		50-60	$W_H = > 30\%$		4Б	$t=69^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=4$
			$W 30-20\%$			$t=73^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=7$
			$W < 20\%$			$t=91^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=25$
	Береза	22-30	$W_H = > 30\%$		4Г	$t=69^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=6$
			$W 30-20\%$			$t=73^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=10$
			$W < 20\%$			$t=91^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=28$
		30-40	$W_H = > 30\%$		4В	$t=69^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=5$
			$W 30-20\%$			$t=73^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=8$
			$W < 20\%$			$t=91^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=26$
		50-60	$W_H = > 30\%$		6Б	$t=57^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=3$
			$W 30-20\%$			$t=61^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=6$
			$W < 20\%$			$t=77^{\circ}\text{C}$	$\Delta t=22$

Заключение.

На основе предлагаемой в данной статье классификации факторов впоследствии предполагается создать и реализовать на реальных данных модель, учитывающую неопределенность параметров.

Библиографический список

1. А.Н. Чубинский, А.А. Тамби, Г.С. Варанкина, А.А. Федяев, М.А. Чубинский, В.Л. Швец, К.В. Чаузов. Физические методы испытаний древесины: Научное издание – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 125 с.
2. Журнал ЛесПромИнформ №7 (38), 2006 URL: <https://lesprominform.ru/jarticles.html?id=1294> [Дата обращения 03.02.2022].
3. Технические характеристики сушильной камеры EcoWood 50 URL: https://stanki-tg.ru/index.php?route=product/product&product_id=1743&path=148_605_606 [Дата обращения 03.02.2022].
4. В.А. Козлов, В.Б. Кунтыш, В.И. Мелехов; гл. ред. Е.С. Богданова. Справочник по сушке древесины: учебник – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 304 с.
5. С.И. Акишенков, В.И. Корнеев, А.М. Артеменков. Гидротермическая обработка и консервирование древесины: Учебное пособие – СПб.: СПбГЛТУ, 2013. – 68 с.
6. И.В. Кречетов Сушка древесины: Издание третье, переработанное – М.: Лесная промышленность, 1980. – 432 с.

Сведения об авторах

ФИО Турбал Е.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 dd2212-vs@yandex.ru

ФИО Шифрин Борис Маркович
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 Игорь Владимирович
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

Аннотация

В статье рассмотрены факторы, влияющие на процесс сушки пиломатериалов. Приведена структурная схема наиболее значимых параметров, влияющих на сушку. Рассмотрены зависимости температуры, времени, агента сушки, погодные условия, а также влияние времени прогрева на общее время сушки.

Ключевые слова: сушка пиломатериалов, влияние факторов, процесс сушки, drying of lumber, influence of factors, drying process.

УДК 674.047.3

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.29.17

Математическое моделирование процессов сушки материалов сложной формы с использованием ВЭР

Федяев Ал.А.

Введение.

Проблемы использования низкопотенциальных отходов в настоящее время актуальность велика и в перспективе будет постоянно расти.

В условиях энергетического кризиса значимой является экономия энергоресурсов за счет поиска путей использования низкопотенциального тепла крупных промышленных предприятий.

В металлургической промышленности и ряде других отраслей нередко возникает проблема быстрого доведения до кондиционных параметров перед сменой специальной рабочей формы для обслуживающего персонала горячих

цехов и открытых площадок, т.к. работа во влажной спецодежде приводит к понижению производительности труда, росту невыходов на работу в связи с обострением простудных заболеваний и другим негативным факторам.

При проектировании системы термообработки рабочей формы с целью минимизации эксплуатационных и капитальных затрат необходимо максимально использовать имеющиеся на предприятии условия: воздух низких параметров бытовых помещений предприятия в качестве сушильного агента в ограниченном временном интервале (порядка 16 часов), что во многом предопределяется аэродинамическими характеристиками всей системы.

Для разнообразных материалов сложной формы (войлочные куртка, брюки, головной убор, валенки и др.), используемых в качестве верхней спецодежды рабочим персоналом литейного производства алюминиевого завода, рационально применять подходы к обобщению получаемых различными авторами данных по кривым сорбции и десорбции. Наиболее предпочтительным для изучения кинетики сушки представляется метод обобщенной кривой сушки [1,2], позволяющий по одной кривой сушки учесть специфику конкретного сушимого материала и условий его обтекания воздушным потоком, для получения которых для каждого объекта необходимы данные по различным аэродинамическим условиям в камере термообработки исследуемых объектов.

Данные экспериментальных исследований в лабораторных условиях по кинетике сушки верхней формы войлочного покрытия обслуживающего персонала позволили получить индивидуальные коэффициенты для каждой обобщенной кривой сушки и возможность рассчитывать продолжительность сушки τ для каждого образца до любого заданного конечного влагосодержания ω_k в зависимости от различных начальных условий. Расчет τ для сушимых материалов показал возможность использования в качестве агента сушки теплого воздуха систем отопления центральных бытовых цехов алюминиевого завода.

Расчетное моделирование процессов гидродинамики, а также тепло-и массообмена при сушке материалов сложной формы в трехмерной постановке, осуществлялось с помощью вычислительного комплекса PHOENICS. Использовалась стандартная К-Е модель турбулентности, не содержащая в уравнениях соотношений для масштаба турбулентности. Система уравнений, описывающая исследуемый процесс, включает в себя уравнение неразрывности, уравнение движения, уравнение энергии, уравнение кинетической энергии и уравнение диссипации энергии при соответствующих граничных условиях. Достаточно полное изложение основ и особенностей данного метода описаны в работах [3, 4, 5].

Использование расчетного комплекса и предлагаемой К-Е модели турбулентности [6] дает вполне удовлетворительные результаты [7, 8] при решении подобного рода задач и весьма удобно (а нередко это единственная возможность) при поиске рациональных аэродинамических и температурных режимов работы различных теплотехнологических агрегатов.

Как уже отмечалось ранее время сушки материалов ограничено 15-16 часами, температура сушильного агента имеет комнатное значение. При даже незначительном повышении начального влагосодержания (свыше расчетных значений, что вполне возможно летом и осенью) материал за такой короткое время сушки не выходит на комфортные значения влагосодержания. Поэтому в работе было проведено несколько серий параметрических расчетов для оценки влияния ряда факторов (скорость сушильного агента и его температура, организация 100%-го обтекания поверхности сушки с помощью зазоров и др.) на распределение полей скоростей и температур по различным сечениям шкафчика и на интенсивность процесса. Результаты расчета начального варианта размещения материала (рисунок 1) наглядно «высветили» застойные зоны (самая значительная в центральном зазоре между наиболее крупными объектами сушки).

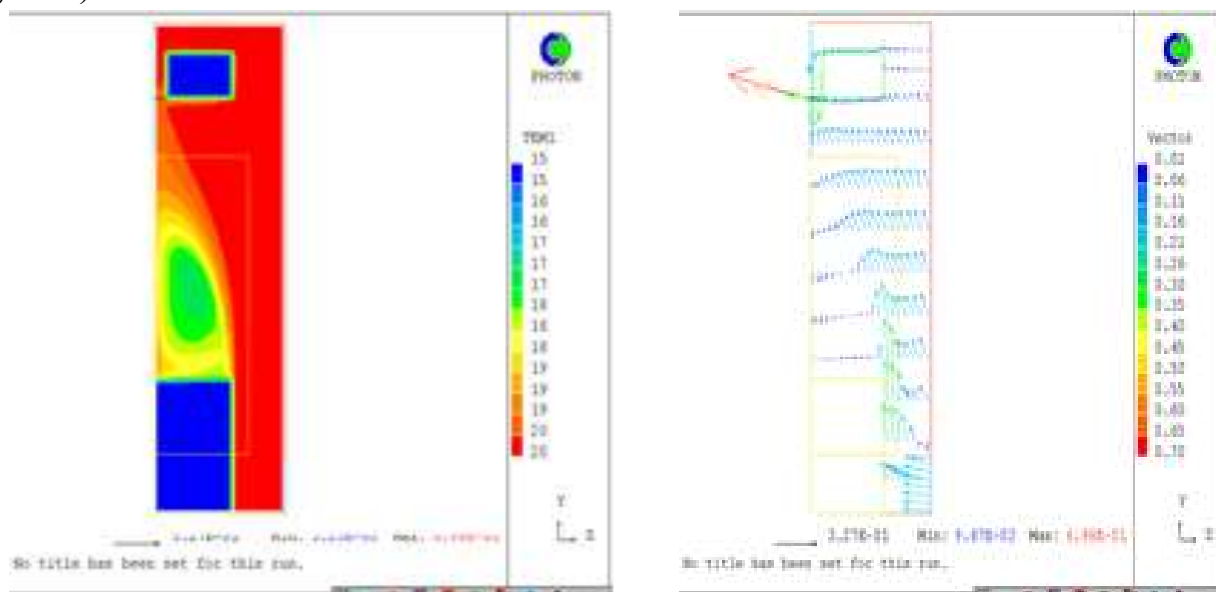


Рисунок 1. Исходная схема размещения группы объектов сушки. Расчет PHOENICS

Также определены зоны с низкими скоростями сушильного агента, а, значит и с низким градиентом влагосодержания на поверхности и пониженной интенсивностью сушки.

Организация повсеместно проходных каналов даже незначительной величины (порядка 0,02 м) позволяет значительно улучшить аэродинамическую ситуацию в камере сушки и практически нейтрализовать основную застойную область (рисунок 2).

Для сведения к минимуму материальных затрат в проектируемой системе сушки использованы элементы уже имеющегося оборудования “бытовок”, а именно: индивидуальные шкафчики для хранения рабочей одежды и воздушная сеть принудительной вентиляции.

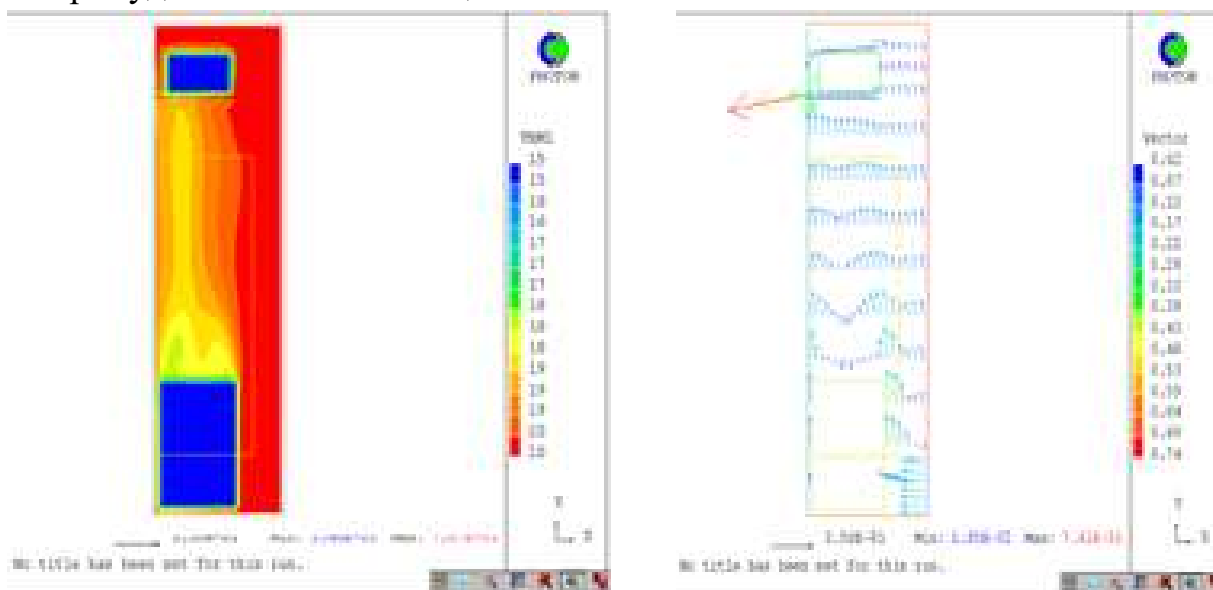


Рисунок 1. Схема размещения объектов сушки при организации сети проходных каналов.
Расчет PHOENICS.

Выполнена корректировка геометрических параметров пневмосети и подводящих промежуточных пневмолиний, а также рабочих характеристик тягодутьевых устройств системы вытяжной вентиляции центральных бытовых. Разработанная система сушки рабочей одежды эксплуатируется во всех цехах металлургического предприятия.

Заключение. Экспериментально установлена возможность использования низкопотенциального тепла (теплого воздуха в виде агента сушки) системы отопления и сети принудительной вентиляции центральных бытовых промышленного предприятия для сушки специальной одежды. Проведено численное исследование аэродинамического совершенства сушильной камеры с целью наиболее равномерного распределения энергоподвода в рабочей зоне. Доказана возможность управления интенсивностью сушки объектов различной формы при варьировании геометрическими параметрами при размещении материалов в камере и начальными параметрами теплоносителя

Библиографический список

1. Красников В.В. Кондуктивная сушка. М.: Энергия, 1973.- 286 с.
2. Промышленные тепломассообменные процессы и установки. Учебник под редакцией А.М.Бакластова. - М.: Энергоатомиздат, 1986.- 328 с.
3. Патанкар С. Численные методы решения задач теплообмена и динамики жидкости. –М.: Энергоиздат, 1984.-296с.
4. Вычислительное моделирование конвективного переноса в технологических установках. Жубрин С.В., Павицкий Н.И., Смагин В.В., Хрупов А.П. –М.: МЭИ, 1986.-44с.
5. Мотулевич В.П., Жубрин С.В. Численные методы расчета теплообменного оборудования. –М.: Издательство МЭИ, 1988.-54с.

6. Роди В. Примеры моделей турбулентности для течения несжимаемой жидкости // Аэрокосмическая техника. - 1983.- Т.1. №2.-С.112-119.
7. Видин Ю.В., Федяев А.А. Энергосбережение при сушке текстильных материалов сложной формы. Вестник Красноярского государственного университета. Выпуск 19. Красноярск: КГТУ, 1999.- С.139-142.
8. Федяев А.А., Адомавичюс А.А. Использование бросового тепла систем вентиляции для сушки материалов неправильной формы. Kauno technologijos universitetas. Lietuvos energetikos institutas. Šilumos energetika ir technologijos. Konferencijos pranešimų medžiaga. Kaunas. Technologija. 2002. S. 87 – 92.

Сведения об авторах

ФИО	Федяев Александр Артурович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4618-5907
e-mail	vends1@mail.ru

Аннотация

В работе проведено численное исследование аэродинамического совершенства камеры термообработки с целью наиболее равномерного распределения энергоподвода в рабочей зоне. Доказана возможность управления интенсивностью сушки объектов различной формы при варьировании геометрическими параметрами при размещении материалов в камере и начальными параметрами теплоносителя.

Ключевые слова: аэродинамическая обстановка, продолжительность сушки, энергоподвод, низкопотенциальное тепло, специальная форма.

УДК 674.047

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.33.31

Особенности режимов работы ленточных установок

Федяев Ал.А., Федяев Ар.А., Федяева Н.Ю.

Введение

Одним из самых энергоемких процессов производства является сушка различных материалов и совершенствование технологии сушки является перспективным направлением снижения энергоемкости экономики.

В России работает около 40 фанерных предприятий. Доля России на мировом рынке по продажам на сегодня составляет около 6 %. Выпускаемая готовая продукция объемом порядка 1,8 млн. м³ в год распределяется следующим образом: 64% идет на экспорт (причем, почти половина продается в Японию и Китай), 36% идет на внутренний рынок, 10% – в мебельную отрасль, 12% –

строительство, 4% – тара и упаковка, 2% применяется в машиностроении и 8% – прочее производство.

Рентабельность производства после 1999 года постоянно снижается и составляет сейчас около 30%. Цена на российскую фанеру в среднем на 200 \$ ниже мировых цен, это объясняется тем, что поставляется необлагороженная фанера – полуфабрикат, качественные характеристики которого не дотягивают до европейских стандартов. Низкое качество фанеры обусловлено в первую очередь низким уровнем технической оснащенности производства. Технология производства фанеры в России базируется еще на оборудовании, установленном на предприятиях до 1990 г., которое физически изношено и морально устарело – его износ нередко достигает 80%. Трудоемкость производства колеблется от 11 до 23 чел/час на 1 м³ фанеры, что в 1,5 – 2,5 раза выше, чем на предприятиях зарубежных стран.

Основным сырьем для производства фанеры является шпон (лущенный, строганный) [1].

Сушка лущеного шпона представляет собой удаление из шпона влаги, расположенной в полостях стенок клеток. Для этого в основном применяют тепловую сушку, при которой влага материала под влиянием сообщенного тепла переходит в парообразное состояние и в виде пара удаляется из материала в окружающую среду. Часть свободной влаги можно было бы удалить из шпона методом выдавливания – отжима (однако он не нашел практического применения в промышленности). Частично это происходит в процессе лущения при обжиге [4].

Размеры шпона, с одной стороны, способствуют быстрому удалению влаги, т.к. лист шпона имеет незначительную толщину (0,3 – 3,5 мм) и большие длину и ширину (1300 – 2500 мм на 2500 – 1300 мм). С другой стороны, такие размеры усложняют процесс сушки, т.к. для сохранения плоского состояния листа и предупреждения его деформации должны применяться отличные от сушки пиломатериалов способы и более сложные конструкции сушилок.

По данным на 2005 год, предприятие ООО «ДОК Илим Братск» занимало третье место в стране по выпуску фанеры (153 272 м³ в год). На предприятии располагается 11 машин фирмы «Raute» для сушки лущеного шпона. По принципу подвода тепла они относятся к конвективным сушильным установкам. Поперечный разрез установки, представляющей собой ленточную сушилку с сопловым дутьем, приведен на рисунке 1.

Машина имеет 5 этажей сушки и один этаж охлаждения, 18 однотипных секций по 2 метра каждая. На небольшом расстоянии (20 - 30 мм) от поверхности ленты шпона сверху и снизу находятся узкие сопловые короба, из которых с большой скоростью перпендикулярно поверхности шпона выходит горячий

воздух. Поперечная циркуляция сушимого агента осуществляется с помощью осевых вентиляторов. Оптимальная скорость воздуха на выходе из сопла 12 – 15 м/с, температура сушильного агента 180-190 °С. Рециркуляция воздушных потоков составляет 3,5 %. Проектная производительность установки VMS 110^{II} 4,8 м³/ч.

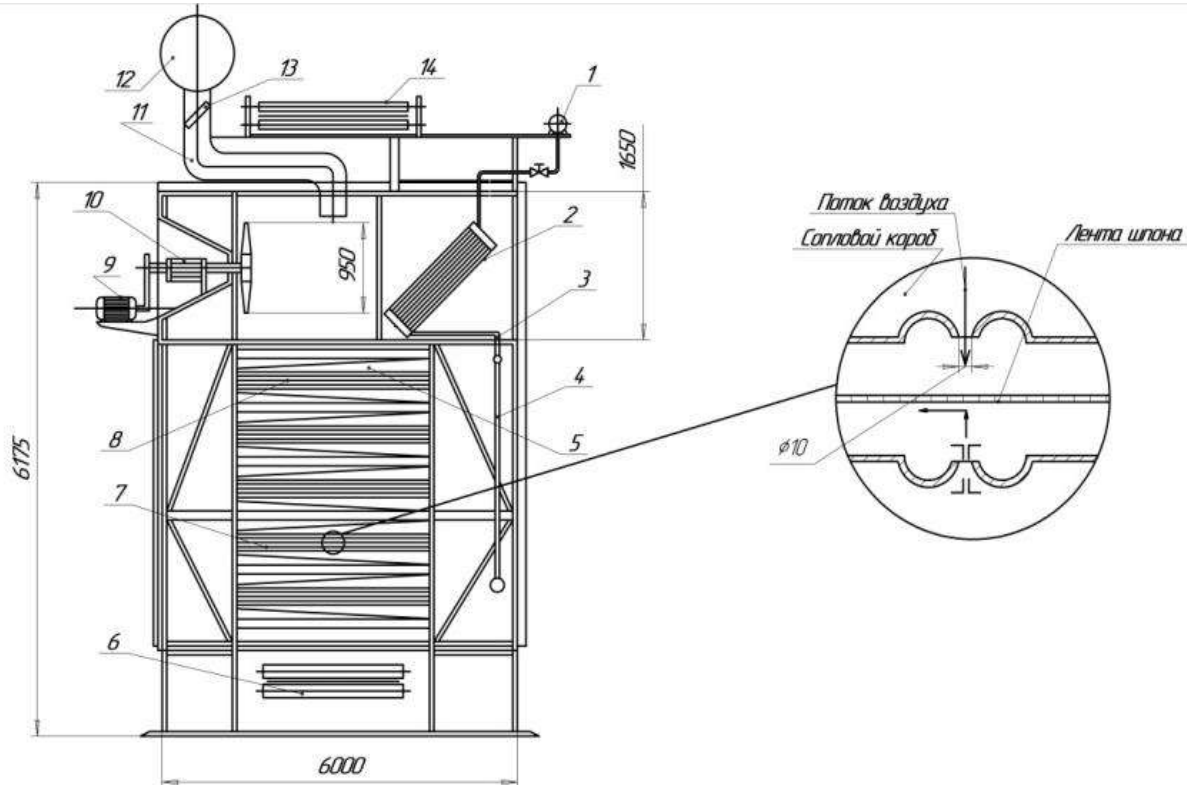


Рисунок 1. Поперечный разрез ленточной сушилки:

- 1 – паропровод; 2 – калорифер; 3 – конденсаторовод; 4 – трубопровод пожаротушения;
- 5 – сопловой короб; 6 – этаж охлаждения; 7 – сетка; 8 – этажи сушки;
- 9 – электродвигатель; 10 – осевой вентилятор; 11 – вытяжной воздуховод;
- 12 – собирательный клапан; 13 – заслонка; 14 – накопительный этаж

Основной проблемой при сушке шпона является большой разброс влажности по длине сушимого материала (например, для ядра она составляет 30-60%, для заболони 90-200%), поэтому энергоподвод к заболони и ядру должен быть неодинаков, т.к. при одинаковом подводе сушильного агента к высушиваемому материалу возможен брак кондиционного материала в виде коробления, трещин. Трещины, как показывают эксперименты, образующиеся по левой стороне шпона, уменьшают его прочность поперек волокон, а это может привести к его разрыву в процессе сушки, т.е. технологическому браку.

Одним из возможных путей снижения процента брака является непрерывное измерение начального влагосодержания и его распределения по ширине, определение продолжительности сушки до требуемого конечного влагосодержания и управление скоростью движения транспортных лент и других факторов.

Так, например, в работе выполнены расчетные исследования по оценке влияния начальных параметров сушильного агента на продолжительность процесса сушки (рис. 2).

По результатам расчетных данных [1, 3] можно отметить, что с увеличением температуры агента сушки от 170°C до 200°C и постоянной начальной влажности материала $W_{\text{нач}}=200\%$, продолжительность процесса снижается на 22% (с 12,45 мин до 9,6 мин), что приводит к увеличению часовой производительности установки на 22,3%. Графики продолжительности процесса сушки в зависимости от температуры сушильного агента представлены на рисунке 2.

Как показывают экспериментальные исследования, выполненные в промышленных условиях [2], влагосодержание по ширине сушимого материала на выходе из установки различается, что связано с неодинаковыми значениями параметров сушильного агента по длине соплового короба. Это требует дополнительных расчетных и экспериментальных и расчетных исследований режимов работы сушильных установок.

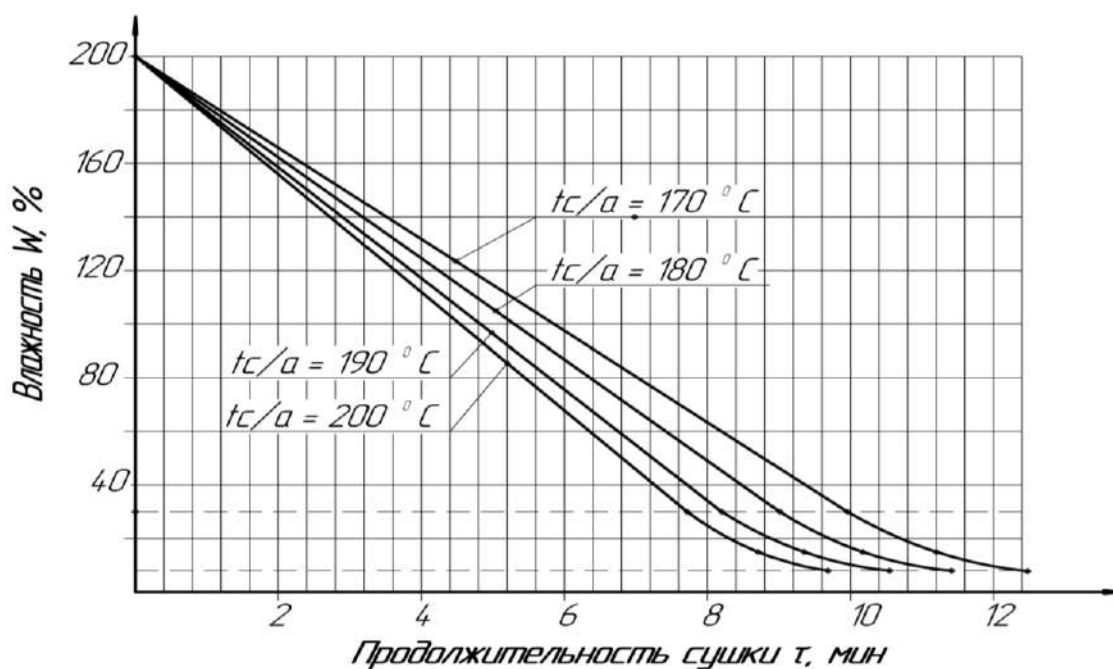


Рисунок 2. Графики зависимости продолжительности процесса сушки от температуры сушильного агента

Заключение

Таким образом, при наличии большого разброса влажности по длине ленты сушимого материала (например, для ядра это до 60%, для заболони до 200%), регулируя температуру сушильного агента можно изменять энергоподвод к заболони и ядру, а также расчетным путем контролировать продолжительность процесса термообработки сушимого материала. Последнее позволяет минимизировать брак кондиционного материала в виде коробления, трещин.

Также становится доступным контроль непроизводительных энергозатрат при производстве данной продукции, что при крупномасштабном производстве фанеры приводит к существенной экономии энергозатрат

Библиографический список

1. Стерлин Д. М. Сушка в производстве фанеры и древесностружечных плит. Изд. 2-е, перераб. и доп.. - М. «Лесная промышленность». 1977, 384с.
2. Федяев А.А. Ресурсосбережение при сушке лущеного шпона. Межвузов-ский сборник научных трудов «Проблемы экономии ТЭР на промпредприяти-ях и ТЭС». Санкт-Петербург: СПбГТУРП, СПбГТУ, СЗТИ, 2001 г., с. 68 – 75.
3. Кречетов И. В. Сушка древесины. – 3-е изд.перераб. – М.: Лесн. пром-ть, 1980. – 472с.; ил.
4. Бакластов А. М., Горбенко В.А., Данилов О.Л. и др. Промышленные теплообменные процессы и установки: Учебник для вузов/ Бакластов А.М. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 328с.; ил.

Сведения об авторах

ФИО Федяев Александр Артурович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, 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, 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 лит. А, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7500-5197
e-mail nat_fedyayeva@mail.ru

Аннотация

Приведены конструктивные особенности конвективных ленточных установок финской фирмы Рауте. Представлены результаты расчетных исследований режимов работы в крупногабаритных сушильных камерах при

различных внешних параметрах и их влияние на продолжительность процесса сушки лущеного шпона.

Ключевые слова: сушильные установки, продолжительность сушки, температура, влагосодержание, шпон.

УДК 674.047

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.33.31

Современные методы увеличения износостойкости стального дереворезающего инструмента

Белоногова Н.А., Вохмянин Н.А., Тарабан М.В.

Введение

В настоящее время уровень технологических разработок, применяемых при проектировании деревообрабатывающего оборудования и инструмента чрезвычайно высок. Идёт постоянное увеличение скорости подачи, глубины резания за один проход детали через станок; разрабатываются и внедряются прогрессивные методы крепления инструмента на валу станка (система «Гидромат»), совершенствуется система его заточки и приработочной доводки (система «JOINSTEIN»). По этой причине возникает проблема недостаточной износостойкости применяемого стального инструмента.

Цель работы – проведение анализа существующих методов упрочнения дереворезающего стального инструмента и выработка рекомендаций по их применению.

Методы исследования: комбинация аналитических, металлографических, дюрOMETрических методов и современных способов контроля микрогеометрии рабочих частей инструмента.

Результаты исследования

Материалы, традиционно идущие на изготовление дереворезающих инструментов, не претерпели существенных изменений за последние несколько десятилетий. Мало отличаются друг от друга и стали, серийно выпускаемые в различных промышленно-развитых странах. Так инструментальные стали 8H2A, 7H2MФА (Россия), ASN и ES (Австрия), HSS-Hochleistungsschnellstahl (Германия), NIFI, NICIFI (Франция), SKS-5, SKS-51 (Япония), HB (Швеция) практически не отличаются друг от друга ни по химическому составу, ни по режимам заводской термообработки. Аналогичное положение сложилось и с твёрдыми сплавами. В настоящее время нет достаточно обоснованных причин ожидать создания новых инструментальных материалов, способных в существенной степени заменить высокоуглеродистые легированные стали, учитывая углы заточки, скорости резания и другие специфические особенности

процесса механической обработки древесины. Таким образом, на первый план выходит проблема поиска новых методов увеличения износостойкости дереворежущих инструментов, изготовленных из традиционных инструментальных сталей.

Как известно, все методы увеличения износостойкости дереворежущих инструментов разделяются на конструктивные (материал, угловые и линейные параметры, подготовка к работе), технологические (локальное упрочнение рабочей части инструмента) и эксплуатационные (оптимизация режимов резания по критерию наибольшей стойкости).

В проводимой нами исследовательской работе первоочередной интерес вызывают технологические способы увеличения износостойкости инструмента. Наиболее хорошо изучены и распространены на сегодняшний день методы, связанные с нанесением на рабочую часть режущего инструмента износостойких покрытий. Применяемый ныне стеллит, впервые был опробован в США после второй мировой войны [1], с 1956 года был введён в практику подготовки инструмента в Великобритании на лесопильном заводе фирмы «Монтачу Л. Мейер». Надо заметить, что способ стеллитной наплавки с присущими ему плюсами и минусами, принципиально не изменился за последние годы.

Известны контактные методы покрытия инструмента карбидом вольфрама [2]. Заслуживает внимания и способ ионноплазменного напыления износостойких покрытий в вакууме, нанесение на рабочую часть инструмента неметаллических соединений типа нитридов, боридов, карбонитридов и оксидов. Наряду с достоинствами, подобные способы имеют ряд объективных недостатков – сложность и громоздкость оборудования при его высокой цене и малой универсальности, ограничения в размерах обрабатываемого инструмента.

Кроме вышеупомянутых способов, в ряде случаев применяется ционирование, нитроцементация, азотирование и некоторые другие.

Проанализировав упомянутые технологические способы упрочнения, их достоинства и недостатки, можно сделать ряд выводов:

- локальные методы упрочнения инструмента могут обеспечивать в известной степени увеличение его износостойкости.
- в большинстве случаев методы локального упрочнения являются поверхностными и не затрагивают структуры инструментальной стали.
- локальное упрочнение обеспечивает увеличение износостойкости на большее или меньшее количество циклов работы до переточки, но со временем операция должна быть повторена.
- до настоящего времени не существовало научно-обоснованного и апробированного на практике метода локального упрочнения, обеспечивающего стабильный рост износостойкости инструмента на весь

срок его службы, вне зависимости от условий работы, количества переточек и других факторов влияния.

С нашей точки зрения наиболее перспективным методом увеличения износостойкости стального дереворежущего инструмента является его лазерное термоупрочнение.

Лазерная закалка позволяет значительно увеличить микротвёрдость поверхности и одновременно коррозионную стойкость инструмента. Дополнительное использование сканаторов даёт возможность равномерно и быстро упрочнять инструменты большого размера, такие как луцильные, строгальные, фрезерные ножи; рамные, ленточные и дисковые пилы любой длины или диаметра. Ввиду высокой плотности мощности обеспечиваются сверхвысокие скорости нагрева и охлаждения при кратковременном воздействии на обрабатываемую поверхность. По этой причине лазерная обработка сопровождается минимальным воздействием на деталь и соответственно минимальным её короблением. Вместе с тем лазерная закалка имеет и некоторые технологические сложности. Так требует преодоления проблема борьбы с высокой отражающей способностью металлов. Перед закалкой детали, на неё в качестве чернения наносят покрытия на основе окислов Al_2O_3 , ZnO , фосфатные покрытия. Близкой к оптимуму является разработка японской компании «Мацусита дэнки санчэ» [3]. В её основе специальная плёнка с поглощающим покрытием, выполненная на целлюлозной основе с нанесённым клеящим слоем. Плёнка легко наносится на обрабатываемую поверхность, а после лазерного воздействия её остатки легко удаляются. Стабильность поглощающих свойств плёнки исключает разброс результатов лазерной обработки.

К настоящему времени в РФ и других странах выполнено достаточно большое количество научных работ, посвящённых лазерной закалке металлообрабатывающих инструментов. Разработок, связанных с лазерным упрочнением дереворежущих инструментов гораздо меньше [4, 5, 6, 7]. Отдельные исследования, несмотря на свою достоверность и практическую ценность, не дают целостного представления об особенностях лазерной закалки дереворежущих инструментальных сталей, не учитывают конструктивные и эксплуатационные особенности инструментов деревообработки. Надо заметить, что механический перенос методик закалки металлообрабатывающих инструментов на дереворежущий инструмент, как правило, не приносит хороших результатов, именно по причине игнорирования специфических особенностей последнего.

Пытаясь восполнить пробелы в теоретических исследованиях и учитывая отсутствие промышленной технологии лазерной закалки стального дереворежущего инструмента, нами проводится целенаправленная научно-

исследовательская работа в этом направлении. Конечной целью настоящих исследований является создание законченной промышленной методики лазерной закалки дереворежущих инструментов, выполненных из современных высоколегированных сталей. Для решения поставленной задачи досконально изучены и разработаны следующие теоретические и экспериментальные разделы:

- подготовка инструментальных сталей к лазерной закалке;
- обоснование выбора источника лазерного излучения (тип, мощность, схема, фокусировка, вид оптики, система сканирования);
- металлографические и дюрOMETрические исследования инструментальных сталей;
- рентгеноструктурный и микрорентгеноструктурный анализы;
- анализ теплового состояния образцов при лазерной термообработке;
- влияние параметров режима обработки на размеры и форму зон лазерного воздействия, разработка адекватной модели процесса теплового состояния образца и использование её для расчёта температурных полей (схемы точечного и поперечно-полосового источника постоянной интенсивности движущегося с постоянной скоростью по поверхности полубесконечного тела);
- исследование микроструктуры сталей с помощью микрорентгеноспектральной установки «Самеса М5-46».

Эксперименты по выбору оборудования позволяют утверждать, что наиболее приемлемым источником лазерного излучения является мощный CO₂-лазер EFA-3500 американской фирмы «Когерент Дженерал», оснащённый сферической и цилиндрической линзами и системой зеркал, составленных по схеме Кассегрена (в зависимости от конкретного опыта по обработке).

Комплексным исследованиям подвергались стали 3ХФ, 9ХФМ, У8, У9, У9НГ, 8Н1А, 8Н2А, 7Н2МФА. Полученные результаты показывают, что в зоне оплавления всех обработанных лазерным излучением сталей – структура двухфазная аустенитно-мартенситная. Количество остаточного аустенита, содержащегося в поверхностных слоях варьирует от 12 до 43%. Зона закалки неоднородна по своему составу. Структура её поверхностного слоя подобна структуре зоны оплавления. Отличительной особенностью более нижних слоев зоны закалки является появление нерастворившихся карбидов, количество которых увеличивается по мере повышения уровня углерода и легирующих элементов стали.

Максимальная твердость 10.8 Гпа (68 HRC) достигается при дозированном растворении карбидов для насыщения мартенсита углеродом порядка 0,8%.

Неполное растворение карбидов для сталей с большим содержанием углерода позволяет избежать повышенных значений. Между зоной закалки и основным металлом следует мягкая прослойка – зона отпуска, твердость которого всего на 0,2-0,4 ГПа ниже, чем после традиционной обработки. Ее толщина в 4-5 раз меньше толщины упрочненного слоя. На основе выявленных закономерностей изменения зон лазерного влияния в зависимости от параметров режима обработки предложена модель расчета по подбору режимов упрочнения для получения закаленных слоев требуемой формы и размеров, с заданными свойствами.

Для проверки правильности теоретических расчетов по выбору режимов лазерной закалки была предложена методика нанесения дорожек упрочнения по задней грани фрезерного ножа из стали 9ХФМ с базовой твердостью 43 HRC. Дорожки наносились перпендикулярно режущей кромке, что в дальнейшем позволило провести количественную оценку линейного износа по каждой дорожке соответствующей определенному режиму упрочнения. Режимные характеристики варьировали в пределах: мощность излучения $P_{л.о} = 1-1,5$ кВт; скорость перемещения обрабатываемого образца $V_{л.о} = 16-80$ мм/с. Числа твердости по Виккерсу достигали максимального значения 10680 мПа (среднее значение по десяти точкам – 69 HRC).

Обработанные лазером ножи устанавливались во фрезерную головку четырёхстороннего продольно-фрезерного станка «Унимат» и испытывались в производственных условиях. В результате испытаний и хронометража выявлен рост износостойкости на всех дорожках упрочнения. Наилучшие результаты – соответствуют теоретически прогнозируемым, тем самым, подтверждая правильность и целесообразность проведенной ранее работы.

По результатам поисковых экспериментов лазерной закалки по задней грани была подвергнута опытная партия фрезерных ножей. Её производственные испытания показали стабильный рост износостойкости по сравнению со стандартным инструментом более чем в 3 раза.

В дальнейшем были проведены эксперименты по лазерной закалке различных видов стальных дереворежущих инструментов, изготовленных из всех серийно выпускаемых в России инструментальных сталей, и их производственные испытания. Лазерной закалке подвергались зубья рамных пил (сталь 9ХФМ, 8Н1А), луцильные ножи (У8, У3, У9АГ), дисковые пилы (9ХФ, 9ХФМ, 7Н2МФА), рубительные ножи (65ХВГ, У9) и некоторые другие виды инструмента. Результаты производственных проверок показывают стабильный рост износостойкости в 3 – 4 раза.

По окончании испытаний фиксировались:

— - стойкость инструмента;

- - конечная микрогеометрия инструмента;
- - качество обработанной поверхности.

Выводы:

1. Полученные практические результаты подтверждают правильность выбранной методики закалки и согласуются с теоретическими расчетами и прогнозами.
2. Рост износостойкости различных видов инструмента составляет до 4-х раз.
3. Дальнейшее направление работы заключается в расчете и апробации режимов лазерной закалки инструментов, выполненных из инструментальных сталей зарубежного производства.
4. На первый план выходят вопросы оптимизации процесса лазерной закалки и её промышленного внедрения и снижения себестоимости данного процесса.
5. Полученные научно-практические результаты могут рассматриваться как этап к созданию новой комплексной технологии в области подготовки дереворежущего инструмента.

Библиографический список

1. Desserandes Rene: Stellite; progreson, regression? - Revue de Bois, 1980, 5 -7, с.25-39.
2. Coating Extends Tool Life «Iron Metal working international» 1964, v3 pp 19,20.
3. Патент Япония № 56-1608893 кл. В23к26/18, 1981.
4. Вохмянин Н.А. К вопросу увеличения износостойкости дереворежущего инструмента: станки и инструменты дереворежущего производства: Межвуз. сб. науч.тр. - ЛТА.-Л., 1990.
5. Вохмянин Н.А., Чекмезов А.П. Лазерное термоупрочнение деревообрабатывающего инструмента из сталей 3ХФМ и 7Н2МФА. - Межвуз.сб.науч.тр.- ЛТА.- Л.,1993.
6. Вохмянин Н.А. О лазерном термоупрочнении стального дереворежущего инструмента с целью увеличения его износостойкости.- Межвуз.сб.науч.тр.- ЛТА.- СПб., 1992.
7. Вохмянин Н.А. Увеличение износостойкости дереворежущего инструмента, применяемого в лесопилении и деревообработке посредством лазерного термоупрочнения: Диссертация на соискание ученой степени к.т.н.-СПб.,1992.- 234 с.

Сведения об авторах

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	8883-9771
e-mail	nataliabelonogova@mail.ru
ФИО	Вохмянин Николай Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код 8306-1032
e-mail 7520910@gmail.com

ФИО Тарабан Мария Всеволодовна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код 7023-1741
e-mail arcan65@mail.ru

Аннотация

В статье приводится анализ основных методов увеличения износостойкости стального дереворежущего инструмента. Рассматриваются положительные аспекты лазерного термоупрочнения и обозначаются направления дальнейших исследований в данной области.

Ключевые слова: износостойкость, лазерное термоупрочнение, микрогеометрия, стальной дереворежущий инструмент, закалка, инструментальные стали.

УДК 684.4-18.053

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.15.19

К вопросу поперечного шлифования древесины

**Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.,
Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.**

Введение

Применительно к процессу шлифования древесины Поповым Ю.Л. предложена схема (рис. 1) для определения геометрических и тригонометрических соотношений между действующими силами в системе «резец (зерно) – дерево» [1].

Из рис. 1 видно, что абразивное зерно принято упрощенной формы, так как его вершинная часть, ограниченная некоторой долей радиуса R , не принимает участия в срезании стружки. Объясняется это тем, что у вершин зерен передний угол резания близок $\pi/2$. Вместе с тем острота вершинной части зерен обуславливает глубину их врезания в обрабатываемый материал под действием нормального к поверхности резания давления.

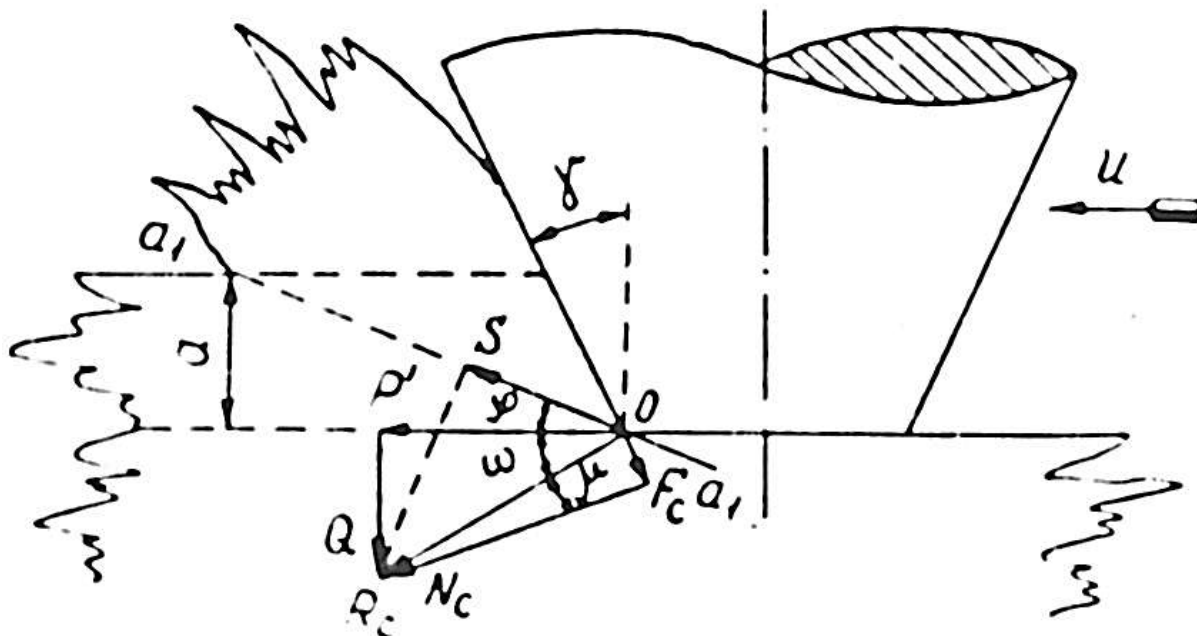


Рисунок 1. Схема для определения геометрических и тригонометрических соотношений между действующими силами в системе «резец – дерево»

Таким образом, внешняя часть зерна под действием нормального давления совершает работу трения.

Из расчета 1 см² площади контакта шкурки с древесиной сила трения может быть учтена произведением:

$$P_t = q \cdot f \quad (1)$$

где q – удельное давление, кг/см²; f – коэффициент трения.

По данным [2] для незасаленной пары сталь – дерево $f = 0,4$.

Согласно принятой схеме рис. 1 возникающая при взаимодействии резца с древесиной неравномерно распределенная нагрузка заменена сосредоточенной силой R_c , приложенной в точке O .

Искомая касательная сила резания P^1 является горизонтальной составляющей R_c . Замыкает силовой треугольник сила отжима Q . В результате сцепления передней грани резца с отделяемой стружкой возникает сила трения F_c , которая вместе с нормальной силой N_c дают равнодействующую R_c .

В процессе резания срезаемая стружка поднимается по передней грани резца до момента, пока проекция силы резания p^1 на переднюю грань резца не станет рваной или меньше силы трения F_c , после чего произойдет сдвиг стружки в плоскости $a-a_1$ (рис. 1). Положение этой плоскости определяется углом сдвига $L\varphi$.

Принимая в качестве критерия прочности древесины предел пластического течения $\delta_{пт}$, была предложена следующая формула для теоретического определения силы резания (шлифования) [1].

$$P_1 = \sigma_{\text{пт}} \cdot \frac{A}{\sin \varphi} \cdot \frac{\cos(\mu - \gamma)}{\cos(\mu - \gamma + \varphi)} + P_T \quad (2)$$

где $\sigma_{\text{пт}}$ – предел пластического течения вдоль волокон; A – удельная производительность шкурки, $\frac{\text{см}^3}{\text{см}^2 \cdot \text{см}}$; P_T – сила трения, равная $P_T = f q$; φ – угол сдвига; μ – угол трения между передней гранью резца и стружкой; ω – угол действия, равный $\mu - \gamma$; γ – передний угол.

Поскольку выше отмечалось, что в резании учувствуют только зерна с $\gamma \leq 45^\circ$, то выражение:

$$\alpha = \frac{1}{\sin \varphi} \cdot \frac{\cos(\mu - \gamma)}{\cos(\mu - \gamma - \varphi)} \quad (3)$$

при $\gamma \leq 45^\circ$ будет представлять собой постоянную величину $\alpha = 6,13$. В результате выражение (2) примет вид:

$$P_1 = (\alpha \cdot \sigma_{\text{пт}} \cdot A + f \cdot q) \quad (2a)$$

Формула (2a) применима для определения P_2 при резании вдоль волокон. Прежде, чем данную формулу применять для случая поперечного резания, необходимо проанализировать такие составляющие этой формулы, как α и σ .

Из выражения (3) видно, что составляющая α формулы (2a) – есть прежде всего функция угла сдвига φ . Известно, что наиболее простой и достаточно точный метод определения угла сдвига φ – через усадку стружки. При долевом шлифовании, как указывалось ранее, $\alpha = 6,13$.

Однако применительно к поперечному шлифованию получить достоверное значение для α – не представляется возможности в виду сложности определения усадки стружки. Как показали наши опыты с единичным резцом, имитирующим абразивное зерно, основным видом разрушающей деформации в процессе закрытого резания поперек волокон является деформация перерезания. Работа резания в этом случае представляет собой сумму работы перерезания волокон и работы сил трения.

Сказанное дает основание написать для силы P_2 следующее уравнение:

$$P_z = (\tau_w \cdot F_{\text{ср}} + q \cdot f) \cdot F_k \quad (4)$$

где P_z – касательная сила резания, кг; τ_w – предел прочности при перерезании поперек волокон, кг/см²; $F_{\text{ср}}$ – площадь поверхности среза, см²; q – удельное давление в зоне резания, кг/см²; f – коэффициент трения, $f = 0,4$; F_k – площадь контакта шкурки с древесиной, см².

По предварительным данным МЛТИ для древесины сосны, дуба и березы предел прочности при перерезании поперек волокон находится из условия: $\tau_w = 4\tau_{\text{ск}}$, где $\tau_{\text{ск}}$ – предел прочности при скалывании вдоль волокон. Для березы $\gamma = 0,627 \text{ Г} / \text{см}^3$ $W = 15\%$; $\tau_{\text{ск}} = 85 \text{ кг} / \text{см}^2$.

Для определения $\tau_{ск}$ при 10% влажности воспользуемся следующей формулой [3]:

$$X_{10\%} = \frac{X_{15\%}}{[1 + \alpha(W - 15)]} \quad (5)$$

где $X_{10\%}$ и $X_{15\%}$ – пределы прочности при влажности, $W = 10\%$, 15% , $\alpha = 0,03$ – коэффициент пересчета при скалывании вдоль волокон.

В результате решения (5) получим $\tau_{ск} = 100 \text{ кг/см}^2$; предел прочности при перерезании поперек волокон для березы $W=10\%$: $\tau_w = 400 \text{ кг/см}^2$. Очевидно, что $\tau_w = 400$ в данном случае является величиной весьма приближенной.

Исходя из схемы передачи нагрузки на образец при испытании на срез, площадь поверхности среза $F=2ab$, где a и b – соответственно толщина и ширина образца.

При площади контакта шкурки с древесиной $1 \times 1 = 1 \text{ см}^2$, ширина $b = 1 \text{ см.}$, a – толщина $a=A$, где A – удельная производительность шкурки, $\text{см}^3/\text{см}^2$. Отсюда $F_{ср} = 2ab = 2a1 = 2A$.

Таким образом, уравнение (4) может быть представлено в следующем виде:

$$P_z = (2 \cdot A \cdot \tau_w + q \cdot f)F_k \quad (6)$$

Произведем проверку уравнения (6) для случая определения силы P_z при поперечном шлифовании древесины.

Характеристика шлифуемого образца и инструмента: береза; $\gamma = 0.627 \text{ г/см}^3$; $W=10\%$; $F_k = 2 \text{ см}^2$; $\tau_w = 400 \text{ кг/см}^2$; Шлифовальная шкурка Э10 средней остроты.

Режим шлифования: $V=28 \text{ м/с}$, $q = 0.2 \text{ кг/см}^2$;

Решение:

Удельная производительность 1 см^2 шкурки Э10 при $V=28 \text{ м/с}$; $\gamma = 0,627$; и $q=0.2$ составляет:

$$A = \frac{A_{и}}{V} = \frac{0,227}{2800} = 8.1 \cdot 10^{-5} \text{ см}^3/\text{см}^2 \cdot \text{см},$$

где $A_{и}$ – удельная производительность инструмента по экспериментальным данным.

По уравнению (6) находим:

$$P_z = (2 \cdot 8.1 \cdot 10^{-5} \cdot 400 + 0,2 \cdot 0.4) \cdot 2 = 0,290 \text{ кг}.$$

Опытное значение P_z для данных условий $P_z=0.280 \text{ кг}$. Расхождение между теоретическим значением P_z и опытным в данном случае составляет 3,5%. Однако, опыты, проведенные для аналогичных условий, при применении шкурки большей зернистости: №16 и №25 теоретическими расчетами подтвердились в меньшей мере. Отклонения опытных результатов от теоретических для шкурок Э16 и Э25 составили соответственно 22% и 39%.

Следует заметить, что во всех трех случаях применения шкурки Э10, Э16 и Э25 сила P_z , определенная теоретическим путем, оказывалась больше практического значения P_z соответственно на 3.5%, 22% и 39%, т.е. отклонения прогрессировали с ростом зернистости инструмента.

Объяснить этот факт можно тем, что при поперечном шлифовании с ростом зернистости производительность инструмента увеличивается не пропорционально росту силы резания. Явления попутного скалывания материала, которое, как указывалось выше, характерны для поперечного шлифования, особо заметно проявляются для крупнозернистого инструмента. В этой связи формула (6) не является вполне совершенной, так как она недостаточно точно учитывает связь между силой резания P_z и производительностью шлифовального инструмента, если изменение последней обусловлено зернистостью шкурки. Во всех остальных случаях изменения производительности шлифования, зависящих от q , кг/см² и γ , г/см³ формула (6) позволяет производить расчеты с удовлетворенной точностью и может быть рекомендована для внедрения предварительных вычислений силы P_z при поперечном шлифовании древесины.

Шлифование деталей круглого сечения методом поперечного шлифования представляет собой значительно более сложный процесс, чем обычное поперечное шлифование плоских поверхностей.

Кроме известных при шлифовании плоских поверхностей факторов в случае шлифования деталей круглого сечения необходимо учитывать влияние окружающей скорости детали, угла перерезания волокон и т.д. Поэтому достаточно точное представление о силах, действующих в процессе шлифования деталей круглого сечения можно получить на основе специальных экспериментов.

Библиографический список

1. Попов Ю.П. Исследование работоспособности шлифовальной шкурки. М.: Машгиз, 1964.-20с.
2. Кравчук В.И. Исследование и разработка методов повышения эффективности ленточного шлифования путем улучшения рельефа абразивного слоя. Киев, 1982.-20с.
3. Sergeevichev A, Belonogova N., Sergeevichev V., Byzov V., Mikhailova A. Investigation of the influence of certain factors on the quality of processing during hard grinding. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 5th Pan-Russian Scientific Technical Conference on Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education, FR 2020; St. Petersburg State Forest Technical University Saint Petersburg; Russian Federation. Vol 574(1), 2020.DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012072.

Сведения об авторах

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	4629-6720
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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9168-3411
e-mail	alexander910@yandex.ru
ФИО	Лебедев Антон Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	ktk@mail.ru
ФИО	Дедерер Михаил Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	sp1kexx89@gmail.com
ФИО	Торочков Дмитрий Алексеевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	torochkov501@gmail.com

Аннотация

Кроме известных при шлифовании плоских поверхностей факторов в случае шлифования деталей круглого сечения необходимо учитывать влияние окружающей скорости детали, угла перерезания волокон и т.д. Поэтому достаточно точное представление о силах, действующих в процессе шлифования

деталей круглого сечения можно получить на основе специальных экспериментов.

Ключевые слова: абразивная обработка древесины методом поперечного шлифования.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.29.21

Особенности шлифования древесины поперек волокон

**Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.,
Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.**

Введение

Под износом абразивного инструмента понимается истирание и выкрашивание абразивных зерен и связки под действием механических сил и температурных напряжений, а также адгезионный износ. Температурные напряжения в процессе шлифования древесины не оказывают заметного влияния на износ абразивных зерен, термостойкость которых значительно превосходит критическую температуру нагрева древесины (200°C).

Гораздо большее значение имеет механический износ, следствием которого является истирание режущих кромок, а также выкрашивание как части, так и целого зерна в результате усталостных напряжений.

Преимущественным видом износа абразивного инструмента при шлифовании древесины является адгезионный износ. Под действием сил адгезии (слипания) происходит налипание мельчайших древесных стружек к поверхности абразивных зерен. В процессе резания происходит внедрение абразивных зерен в обрабатываемый материал, в результате чего налипшие частицы древесины частично снимаются с вершин зерен и заполняют постепенно все межзерновое пространство (засаливают поверхность инструмента). В результате шкурка утрачивает свою работоспособность прежде, чем произойдет хотя бы частичный механический износ абразивных зерен.

Наиболее интенсивно адгезионный износ протекает при шлифовании влажной смолистой древесины. Например, по данным Попова Ю.П. при шлифовании сосны износостойкость шкурки в 1-2 раза ниже, чем при шлифовании лиственных пород древесины. В условиях адгезионного износа мелкозернистые шкурки, имеющие незначительный объем межзернового пространства, оказываются менее износостойкими в сравнении с крупнозернистыми шкурками [1].

Однако если износ инструмента происходит в условиях частичного затупления и частичного самозатачивания, то износ возрастает с увеличением размера зерна.

Объясняется данное явление тем, что зерна крупнозернистого инструмента, имеющего на единице площади меньшее количество зерен по сравнению с мелкозернистым инструментом, проникают в обрабатываемый материал на большую глубину, а, значит, воспринимают большее напряжение.

В связи с вышеизложенным проведением краткий анализ особенностей работы шлифовального инструмента при шлифовании деталей круглого сечения:

- Шлифование деталей круглого сечения ведется методом поперечного шлифования, для которого характерно незначительное засаливание шкурки при наличии повышенной потери зерен [2];
- Контакт инструмента с деталью происходит по минимальной дуге контакта 1-10 мм, что создает хорошие условия для освобождения зерен от срезаемых частиц древесины и предотвращает забивание межзернового пространства;
- Шлифование осуществляется при значительном удельном давлении $0.1 - 0.6 \text{ кг/см}^2$ и в условиях, когда обрабатываемая деталь вращается со скоростью до 1500 об/мин, совершая одновременно сложные поперечные колебания.

На основе проведенного анализа особенностей шлифования деталей круглого сечения можно предположить, что в данном случае процессу затупления шлифовального инструмента сопутствует частичное самозатачивание, которое увеличивается с ростом зернистости. Поскольку шлифовальная шкурка рассматривается как однослойный абразивный инструмент, то крупнозернистые шкурки в условиях самозатачивания могут оказаться менее износостойкими из-за более интенсивной потери зерен и появления в этой связи, открытых участков шкурки.

В случае работы шлифовального инструмента с преимущественным засаливанием основным критерием износостойкости является удельная производительность шлифования, так как качество поверхности по мере износа инструмента не только не ухудшается, но даже имеет тенденцию к улучшению. При шлифовании древесины поперек волокон шкурка способна работать более длительное время и с более высокой производительностью. Но поскольку процесс износа в данном случае сопровождается выкрашиванием зерен, то на поверхности шкурки могут появиться открытые участки, что должно с одной стороны привести к некоторому снижению производительности шлифования, а главное к ухудшению качества шлифуемой поверхности [3].

Таким образом, учитывая особенности поперечного шлифования, в качестве критерия износостойкости шлифовальной шкурки, в данном случае, следует

принимать ухудшение качества шлифуемой поверхности или связанное с ухудшением качества снижение производительности шлифования. Второй этап работы шкурки характеризуется устойчивой работой до тех пор, пока постепенные количественные изменения инструмента из-за засаливания поверхности или потери зерен не перейдут в скачкообразные качественные изменения шлифующих свойств данного абразивного инструмента.

В ходе теоретического анализа особенностей шлифования древесины поперек волокон нами были рассмотрены условия и характер стружкообразования, проанализирована возможность теоретического определения касательной силы резания P_z , рассмотрен характер износа шлифовальной шкурки в условиях ее частичной самозатачиваемости, уточнен критерий износостойкости.

Библиографический список

1. Попов Ю.П. Исследование работоспособности шлифовальной шкурки. М.: Машгиз, 1964. - 20 с.
2. Кравчук В.И. Исследование и разработка методов повышения эффективности ленточного шлифования путем улучшения рельефа абразивного слоя. Киев, 1982. - 20 с.
3. Сергеевичев А.В., Онегин В.И. Анализ влияния растягивающих усилий на работоспособность шлифовальной шкурки при обработке древесины. Труды БГТУ. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. вып. №1 (204). Минск: БГТУ, 2018. - С. 49-53.

Сведения об авторах

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 4629-6720
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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9168-3411
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Лебедев Антон Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код —
e-mail ktk@mail.ru

ФИО Дедерер Михаил Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код —
e-mail splkexx89@gmail.com

ФИО Торочков Дмитрий Алексеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код —
e-mail torochkov501@gmail.com

Аннотация

Преимущественным видом износа абразивного инструмента при шлифовании древесины является адгезионный износ. Под действием сил адгезии (слипания) происходит налипание мельчайших древесных стружек к поверхности абразивных зерен. В процессе резания происходит внедрение абразивных зерен в обрабатываемый материал, в результате чего налипшие частицы древесины частично снимаются с вершин зерен и заполняют постепенно все межзерновое пространство (засаливают поверхность инструмента).

Ключевые слова: абразивная обработка древесины методом поперечного шлифования.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.29.21

Анализ процесса стружкообразования при шлифовании древесины абразивными зернами

**Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.,
Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.**

Введение

По современным представлениям об абразивном инструменте его специфические особенности заключаются в отсутствии сплошной режущей кромки, имеющейся у любого лезвийного инструмента, наличии неправильной

геометрической формы абразивных зерен с округленными вершинами, что обуславливают, как правило, отрицательные углы резания. Для понимания физической сущности процесса шлифования необходимо иметь совокупное представление о геометрических формах зерен, о том, как протекает процесс снятия стружки, какая система сил действует на абразивное зерно и т.д. [1]

В настоящий момент наиболее углубленно изучены теоретические вопросы лезвийного резания, как металла, так и древесины, что же касается процесса шлифования, то этот процесс является наиболее сложным и поэтому наименее изученным.

В зависимости от глубины внедрения абразивных зерен происходят различные явления.

Рассматривая каждое отдельное абразивное зерно как элементарный резец, процесс стружкообразования при шлифовании можно описать по аналогии с работой лезвийного инструмента, для которого Тиме Н.А. впервые установил, что при отделении каждого элемента сначала происходит вдавливание острия резца, и это сопротивление, увеличивалось постепенно, достигает своего максимума при скалывании элемента. Затем сопротивление мгновенно пропадает и с минимумом его величины снова начинается постепенное возрастание его.

Развивая Тиме И.А., современная отечественная наука о резании исходит из сравнения процесса резания с процессом пластического сжатия.

При этом многие исследователи считают, что только при сжатии можно достигнуть таких значительных деформаций, какие имеются при резании.

По мнению Каллиопина В.В. деформации сжатия и сдвига являются единственными, на возникновение которых строится весь механизм процесса резания во всей совокупности этого явления.

Опыты по резанию древесины вдоль волокон и элементом, имитирующим единичное абразивное зерно, показали, что уже при отрицательном переднем угле резания, равном 50° не происходит срезание стружки, а наблюдается лишь углепластическая деформация древесины [2].

Углы при вершинах зерен электрокорунда колеблются в пределах $40-145^\circ$; при этом количество зерен с острыми углами (т.е. с углами меньше 90°) составляет примерно 25-30%, а с углами больше 90° – 75-70%.

Таким образом, в резании участвуют примерно 30% зерен. Следует учитывать, что часть абразивных зерен из числа находящихся в зоне резания не используются, так как попадает на уже срезанные участки поверхности.

Для определения количества абразивных зерен, участвующих в процессе резания пользуются закономерностями теории вероятности. На этой основе

установлено, что только малая часть абразивных зерен (для средних условий 6-8%), участвуют в резании [3].

В процессе абразивного резания древесины поперек волокон участие всех режущих зерен не равноценно. Объясняется это тем, что часть зерен совершает работу перерезания волокон, в результате чего для другой части зерен остается лишь преодолеть сцепление между волокнами т.е. произвести работу элементарного скалывания. Таким образом, часть зерен совершает закрытое резание, подобное тому, которое имеет место при пилении поперечными дисковыми пилами, а часть зерен участвуют в открытом резании поперек волокон.

Как видно на рис. 1, при поперечном резании резцом приходится производить разрушение древесины не только основным лезвием CC^1 , но также и боковыми сторонами ic и ic^1 , перерезающими волокна. Волокна древесины оказывают значительное сопротивление при их перерезании, отчего они обычно разрываются не вместе соприкосновения с кромками ic и ic^1 , а в зоне несколько удаленной от этих кромок. Причем, если ширина B_1 обрабатываемого изделия (рис. 2) только вдвое больше длины основного лезвия CC^1 резца, то стружка отрывается резцом по всей ширине aa_1 изделия.

Последнее замечание имеет непосредственное отношение к объяснению особенности работы тех абразивных зерен, на пути которых оказывается уже подрезанные участки древесины рис. 2.

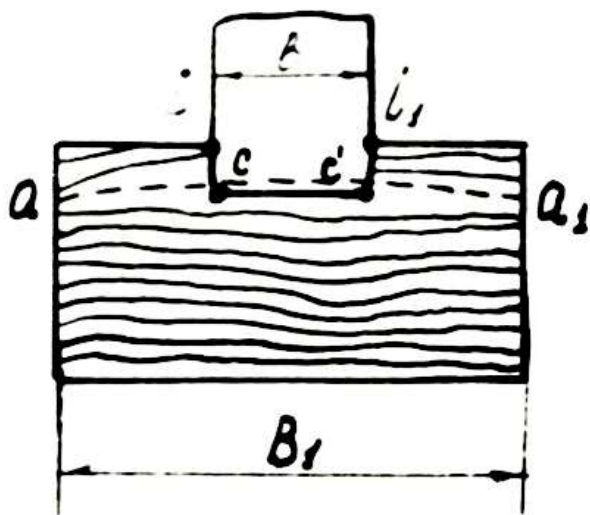


Рисунок 1. Схема закрытого резания резцом

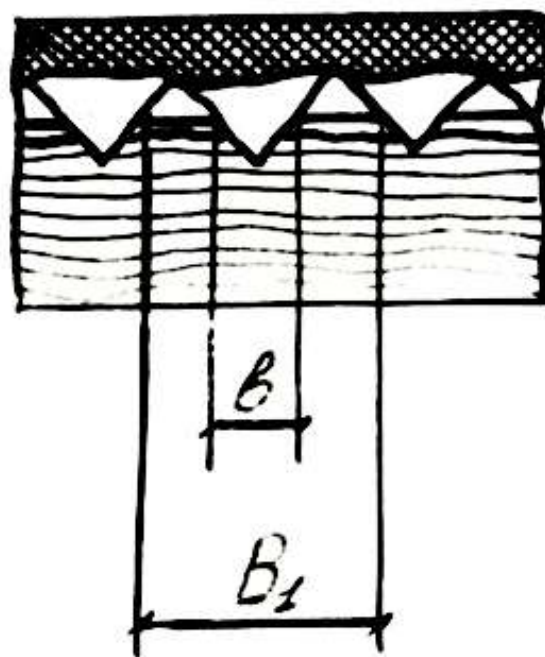


Рисунок 2. Схема поперечного шлифования древесины

Как видно из рис. 2, при поперечном шлифовании древесины вполне логично предположить, что часть зерен находится в условиях, когда $b \geq \frac{B_1}{2}$. При шлифовании древесины вдоль волокон удаляется только некоторая часть древесины, находящаяся под зернами. Из-за преобладания зерен с тупыми углами часть древесины не срезается, а оттесняется по краям царапин в направлении, перпендикулярном вектору скорости резания.

Таким образом, если в резании участвует одно и тоже количество зерен при одинаковой глубине их внедрения в древесину, то при резании поперек волокон объем снимаемой древесины будет значительно большим, чем при долевом резании.

По экспериментальным данным удельная производительность поперечного шлифования в 1.6-1.7 раза выше, чем при долевом шлифовании. Объяснить это можно только особенностями стружкообразования при поперечном шлифовании.

Некоторые вопросы динамики поперечного шлифования также могут быть объяснены с позиций стружкообразования. С переходом долевого шлифования к поперечному потеря зерен увеличивается в 1.5 – 2 раза. Общая картина – сопротивляемость древесины при шлифовании в поперечном направлении больше, чем в долевом отсюда ясна сразу. Но знание особенностей стружкообразования при поперечном шлифовании дает основание считать, что с переходом от долевого резания к поперечному, суммарная сила резания возрастает сравнительно не на много, так как часть зерен при поперечном резании совершает «легкую» работу по скалыванию подрезанных с двух сторон волокон древесины.

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В. Форма режущих кромок рабочей поверхности абразивного инструмента для шлифования древесины и древесных материалов. Известия СПбЛТА. вып. №210. СПб.: СПбГЛТУ, 2015.-С.169-180.
2. Королев А.В. Исследование процессов образования поверхностей инструментов и детали при абразивной обработке. Саратов: Саратовский ун-т, 1975. 202 с.
3. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. Севастополь: СевНТУ, 2012. 304 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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4629-6720
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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9168-3411
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Лебедев Антон Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail ktk@mail.ru

ФИО Дедерер Михаил Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail sp1kexx89@gmail.com

ФИО Торочков Дмитрий Алексеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail torochkov501@gmail.com

Аннотация

По современным представлениям об абразивном инструменте его специфические особенности заключаются в отсутствии сплошной режущей кромки, имеющейся у любого лезвийного инструмента, наличии неправильной геометрической формы абразивных зерен с округленными вершинами, что обуславливают, как правило, отрицательные углы резания.

Ключевые слова: абразивная обработка древесины методом поперечного шлифования.

Анализ пиления дисковыми пилами древесных материалов**Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Дедерер М.А., Торочков Д.А.***Введение*

Пиление – закрытый процесс резания, в котором участвуют короткая и две боковые режущие кромки. Короткая кромка в самом общем случае, будучи параллельной или скошенной относительно оси вращения, совершает плоско-поперечное или сложное плоско-продольно-поперечное резание. Этими направлениями резания и определяется характер стружкообразования для короткой и боковой режущих кромок. При изучении процесса стружкообразования в целом следует учитывать также определенную взаимосвязь работы короткой и боковой режущих кромок. Плоско-поперечное или сложное плоско-продольно-поперечное резание усугубляется к тому же малой шириной короткой кромки. В результате происходит перерезание ориентированных частиц древесины, связанных в различной степени связующим. Вначале режущая кромка резца внедряется в поверхностный слой плиты, состоящий из особо мелких частиц. Здесь, соответственно степени их взаимосвязи и наличия связующего, может отделяться при срезании сливная или легко разделяемая на отдельные элементы стружка. В среднем слое в большей мере вероятно срезание элементной стружки. И наконец, на выходе зуба пилы из плиты условия резания будут приближаться к начальным [1].

Хотя основное резание при пилении совершается несколько выступающей в направлении движения короткой режущей кромкой, ее влияние на качество распиловки оказывается в меньшей степени, чем боковых. Фактически последние формируют поверхности распила. При внедрении боковой режущей кромки зуба пилы в плотный поверхностный слой плиты в большей степени вероятно формирование достаточно гладкой боковой поверхности. В среднем слое плиты условия резания изменяются. Они приближают к условиям продольного или поперечного направления резания. При этом условия работы боковой режущей кромки ухудшаются. Это ухудшение будет особо значительным при торцевом перерезании частиц древесины, когда последние, не имея хорошего подпора, отгибаются и перерезаются не в плоскости движения боковой режущей кромки, а в некоторой иной плоскости. В результате возможно расслоение частиц древесины [2]. Глубина расслоения будет зависеть от степени отклонения частиц и характера связи их друг с другом. (рис. 1). Таким образом, процесс стружкообразования и условия формирования поверхности обработки

зависят от направления резания (ориентация частиц в стружечной плите). При пилении короткая режущая кромка зубьев производит плоско-поперечное резание, а боковые кромки продольно-поперечное резание. Работа зубьев в пропиле определяется участием в резании короткой и боковых кромок зубьев. Основную работу при этом совершает короткая режущая кромка. При отсутствии косой заточки зубьев контурный угол резания у зубьев является основным (определяющим) фактором процесса пиления. Изменение контурного угла приводит к изменению условий работы поперечной режущей кромки (ухудшает или улучшает ее результат работы). При наличии косой заточки зубьев условия работы короткой режущей кромки определяются как контурным углом резания, так и углом наклона короткой режущей кромки к боковой поверхности пилы. Угол наклона короткой режущей кромки зубьев к боковой поверхности пилы при косой заточке определяется формулой в виде:

$$E = \arctg \frac{\sin \varphi_k * \operatorname{tg} \varphi_1 * \operatorname{tg} \varphi_2}{\sin \alpha_k * \operatorname{tg} \varphi_2 + \sin \delta_k * \operatorname{tg} \varphi_1} \quad (1)$$

где: E – угол наклона короткой режущей кромки зубьев; φ_k – угол заточки зубьев (контурный); δ_k – угол резания (контурный); α_k – задний угол зубьев (контурный); φ_1 – угол косой заточки зубьев по передней грани; φ_2 – угол косой заточки зубьев по задней грани.

При наличии косой заточки угол резания короткой режущей кромки зубьев:

$$\delta_k = \frac{\pi}{2} + \omega \quad (2)$$

Здесь угол “ ω ” определяется формулой:

$$\omega = \arctg \frac{\cos E - \sin E * \operatorname{tg} \varphi_1 * \cos \varphi_k}{\operatorname{tg} \varphi_1 * \sin \delta_k} \quad (3)$$

Он имеет положительное или отрицательное значение в зависимости от величин E и δ_k . При величине наклона короткой режущей кромки:

$$E \leq \arctg \frac{S - S_0 \cdot 2}{U_z} \quad (3)$$

в резании участвует только короткая режущая кромка и одна наружная боковая кромка. В формуле (4): S – толщина пилы, S_0 – уширение зубьев на сторону; U_z – подача на зуб. Часть короткой режущей кромки зубьев, которая непосредственно участвует в резании:

$$X = \frac{U_z}{2 \cos E} + \frac{b}{2 \sin E} \quad (3)$$

где: X – часть режущей кромки, которая участвует в резании; b – ширина пропила.

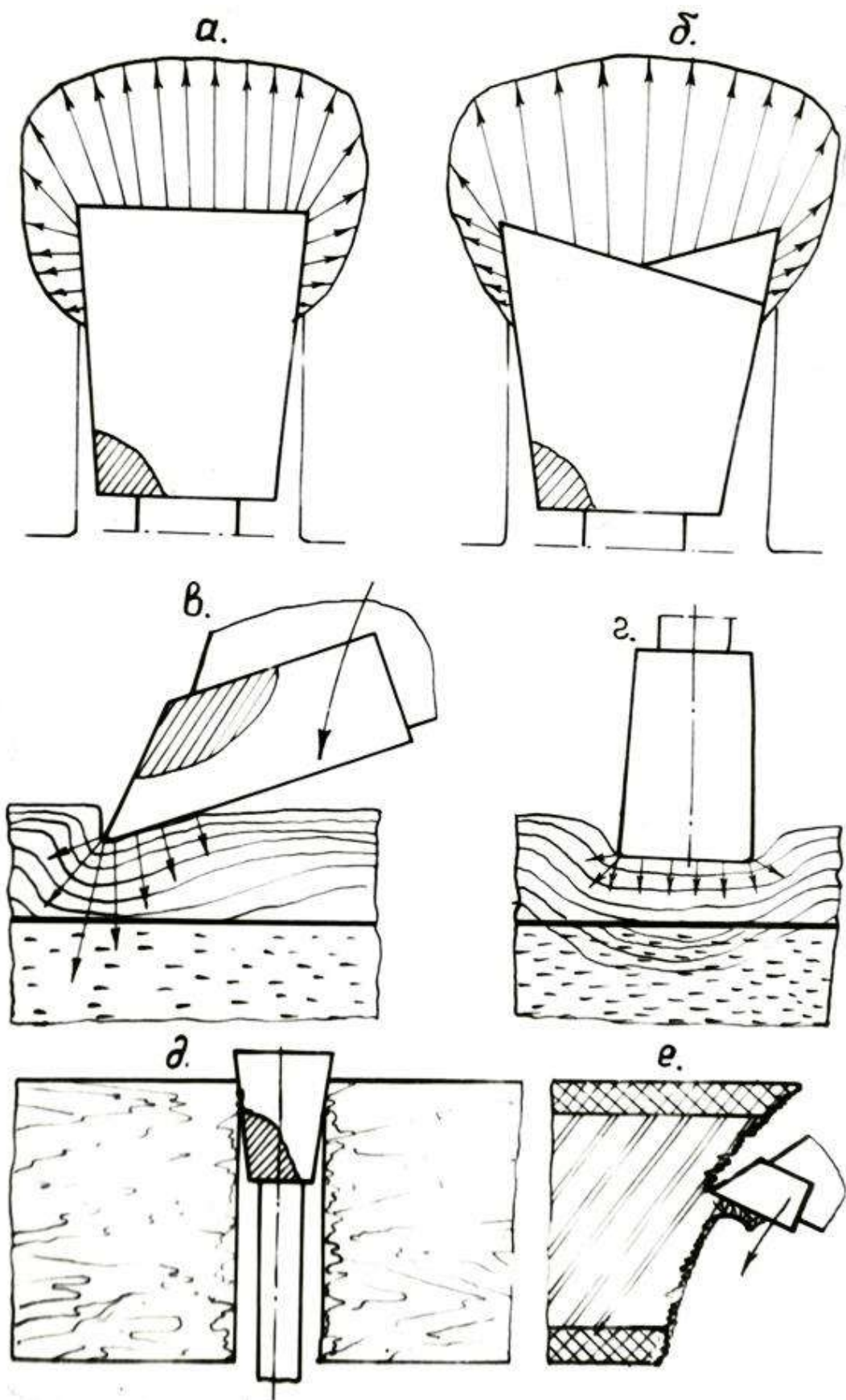


Рисунок 1. Зоны деформации в облицованном слое древесностружечной плиты:
 а – контакт зуба с прямой заточкой; б – контакт зуба с косой заточкой; в – зона режущей кромки и передней грани; г – зона со стороны боковых кромок и поперечной кромки; д – сколы в облицовочном слое; е – сколы по дну пропила

В зоне контакта зуба с материалом имеют место весьма значительные деформации (рис. 2).



Рисунок 2. Деформации в зоне контакта

Библиографический список

1. Санев В.И., Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. Резание древесины и древесных материалов. СПб.: «Лань», 2018. 456 с.
2. Зотов Г.А. Дереворежущий инструмент. Конструкция и эксплуатация. СПб.: «Лань», 2010. 384 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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4629-6720
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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9168-3411
e-mail	alexander910@yandex.ru
ФИО	Дедерер Михаил Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код —
e-mail sp1kexx89@gmail.com

ФИО Торочков Дмитрий Алексеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код —
e-mail torochkov501@gmail.com

Аннотация

Пиление – закрытый процесс резания, в котором участвуют короткая и две боковые режущие кромки. Короткая кромка в самом общем случае, будучи параллельной или скошенной относительно оси вращения, совершает плоско-поперечное или сложное плоско-продольно-поперечное резание. Этими направлениями резания и определяется характер стружкообразования для короткой и боковой режущих кромок.

Ключевые слова: пиление древесных материалов, режущая кромка.

УДК 621.941

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.29.21

Анализ качества обработанной поверхности при пилении дисковыми пилами

**Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.,
Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.**

Введение

При плоском направлении резания на обработанной поверхности возможно появление лунок от отдельных, вырванных частиц. Этот случай резания характерен для малых толщин стружек, меньших чем толщина частиц. При более толстых стружках, больших, чем толщина частиц, на поверхности резания так же возможно образование лунок. Их появление в том случае определяется тем, что резцом отделяется уже целый слой взаимосвязанных частиц. При определенной неплоскостности расположения частиц возможно образование опережающих трещин, и приводящих к появлению неровностей поверхности резания. При больших углах резания образование поверхности резания происходит путем

сдвига слоя или отделения групп частиц. В результате на поверхности резания также возможно появление лунок и углублений [1].

Продольное направление резания. В процессе резания отдельные слабо закрепленные частицы могут вырываться и оставлять на поверхности резания углубления. Вследствие значительных деформаций поверхности резания и относительно малой общей прочности плит на обработанной поверхности, в основном вблизи краев плиты, возможно расслоение частиц в направлении, перпендикулярном к плоскости самих частиц. При торцовом перерезании части и расслоении их волокон образуется ворс.

Поперечное направление реза. При перерезании частиц, и в первую очередь при торцовом перерезании, происходит их расслоение по клеевой связи. Глубина расслоения зависит от факторов процесса резания (прочности перерезаемых частиц, характера связи частиц друг с другом и т.д.). На пути реза могут встречаться частицы, слабо закрепленные, которые легко могут быть смещены резцом со своего места. Такое смещение их вызывает появление углублений на поверхности резания, аналогичных порам структурного происхождения. Расслоение частиц вдоль волокон при воздействии на них реза приводит к появлению на обратной поверхности ворса. Степень ворсистой будет зависеть от количества торцовых частиц, на поверхности резания. Величина ворса будет определяться режимами резания, величиной угла резания и степенью остроты реза. При поперечном перерезании частицы расслоения между ними будут образовываться в меньшей степени. Ворсистость также будет малой.

Качество распиловки плит характеризуется шероховатостью поверхности распила и величиной сколов на кромках. Шероховатость поверхности распила определяется появляющимися неровностями и ворсистой. Если кинематические неровности определяются конструктивными особенностями плиты (и в первую очередь – зубчатого венца) и скоростными характеристиками (частотой вращения и скоростью подачи материала, то структурные неровности зависят от направления резания и строения плиты. Вибрационные неровности определяются характером подготовки плиты и точностью ее установки. Неровности последнего вида при правильной подготовке и установке плиты вообще должны отсутствовать.

Качество поверхности в сильной мере связано с шероховатостью поверхности распила, сколами, вырывами и ворсистой. Шероховатость и степень ворсистой зависят от таких фактов, как угол косо́й заточки зуба по передней грани, плотность плит, количество связующего в плитах, подача на резец, износ зубьев плиты [2]. С уменьшением угла косо́й заточки зуба по передней грани ворс уменьшается, поверхность становится чище. Это происходит в результате уменьшения угла резания боковой режущей кромки и,

соответственно, улучшается условие ее резания. Чем выше плотность плиты и больше количество связующего, тем меньше высота неровностей на поверхностях на поверхности распила. Влияние подачи на зуб на качество распиловки особенно велико. Чем меньше подача на зуб, тем меньше разрушения на поверхности и ворсистость. И наоборот, с увеличением подачи на зуб поверхность распила получается весьма разрушенной. Увеличение подачи за зуб приводит также к увеличению сколов на кромке плиты. По мере затупления зубьев плиты величина ворса несколько возрастет. Однако при значительном износе зубьев ворсистость уменьшается вследствие приглаживания поверхности их затупленными кромками. Но при этом обработанная поверхность существенно деформируется, из-за чего преобладающими на поверхности распила становятся неровности структурного происхождения. Сколы на кромке особенно вероятны на выходе зуба пилы из пропила вследствие отслоения отдельных частиц. При наличии достаточного подпора материала на выходе зуба из пропила или осуществления предварительного прореза в этой части материала количество сколов на кромке уменьшается или они не появляются вовсе. Как отмечалось, критерием качества распиловки плит условно могут рассматриваться размеры сколов при длине сколов до 0.3 мм, качество распиловки может считываться хорошим, до 0.6 мм – удовлетворительным и при более 0.6 мм – плохим [3].

Основными факторами, влияющими на величину сколов, являются: кинематический угол встречи; угол косой заточки по передней грани зуба; величина подачи на зуб; затупление режущих кромок зуба: (радиус закругления режущей кромки). При встречном пилении облицованных плит плотность $7 \cdot 10^2$ кг/м³ дисковой пилой с нижним ее разложением и оснащенной твердым сплавом ВК 15 были получены следующие данные. С увеличением кинематического угла встречи от 0.262 рад. до 0.612 рад. сколы со стороны выхода зуба плиты в пропил уменьшаются в 15 раз (от 1.48 до 0.1 мм), а со стороны выхода из пропила увеличиваются в 7 раз (от 0.1 мм до 0.7 мм). Таким образом, если необходимо получить наименьшие сколы со стороны входа пилы в пропил, кинематический угол встречи должен приниматься возможно большим, а если со стороны выхода из пропила – возможно меньшим.

Исследование влияния угла косой заточки зуба по передней грани на величину сколов показало, что с увеличением этого угла от нуля до 0.350 рад. сколы уменьшаются со стороны выхода плиты из пропила в 4 раза (от 0.45 мм до 0.12 мм), а со стороны входа в пропил в 1.5 раза (от 0.12 мм до 0.08 мм). Последующее увеличение угла косой заточки передней грани приводит к резкому ухудшению режущего инструмента. Увеличение подачи на зуб в 3 раза (с 0.05 мм до 0.15 мм) величина сколов со стороны выхода увеличивается в 4 раза

(с 0.2 мм до 0.8 мм). Следовательно, подача на зуб ограничивается величиной сколов со стороны выхода пилы из пропила. С возрастанием радиуса закругления режущей кромки плиты от 0.01 до 0.06 мм, величина сколов возрастает от 0.1 до 0.7 мм.

Таким образом для получения удовлетворительного качества обработки поверхности радиус закругления режущих кромок не должен превышать ориентировочной величины в 0.05 мм. Для обеспечения хорошего качества обработки облицованных древесностружечных плит существуют следующие усредненные рекомендации (для инструментов и режимов пиления):

- угловые характеристики зубьев плиты – передний угол 0.175 рад., задний угол – 0.262 рад., угол косой заточки по передней грани – 0.350 рад.;
- значения подачи на зуб не должны превышать 0.05 мм, если облицованы обе пласти плиты, если облицована одна пласти, она должна находиться со стороны входа зуба в пропил, при этом подача на зуб может достигать 0.15 мм;
- кинематический угол встречи должен быть в пределах 0.612...0.787; если плита имеет одну лицевую пласти, целесообразно работать при угле встречи до 0.787 рад.;
- величина закругленная режущей кромки не должна превышать 0.05 мм. Опыт показывает, что существующие рекомендации не гарантируют отсутствие сколов в облицовочном слое при пилении плит.

Обычно требования к обработке облицованных древесностружечных плит тем выше, чем тоньше декоративный слой. При обработке кромок этих плит сколы, как правило, появляются на глубине слоя кроющей бумаги. При этом обнажаются внутренние слои другого цвета и сколы резко выделяются. Для получения высококачественного пропила с обеих сторон плиты, определяемого минимальной шероховатостью кромок и отсутствием сколов облицовочного покрытия на кромках, должны быть созданы одинаковые условия резания на обеих поверхностях. Практически это достигается прорезанием поверхностей одновременно двумя пилами, так, чтобы материал плиты служил естественным подпором прорезаемого облицовочного покрытия.

На рис. 1 приведены схемы пиления при распиловке облицовочных плит. Все три схемы предусматривают по отношению к основным пилам в первых двух схемах – встречное, в третьей схеме – попутное. Первая и третья схема особенно применимы для однопильных станков, с верхним расположением основной и подрезающей пил, -для многопильных станков. Обычно подрезающая пила внедряется в плиту на небольшую глубину – порядка 2...5 мм. Основная же пила прорезает облицовочный слой с противоположной стороны плиты, разрезает ее массив и точно входит в надрез материала, приведённый подрезающей пилой.

Качество распиловки облицовочных древесностружечных плит может считаться удовлетворительным, если будут соблюдены условия: шероховатость распиливаемых поверхностей кромок не менее 8-го класса шероховатости по ГОСТ 7016-75; сколы облицовочного слоя не более 0.5 мм.

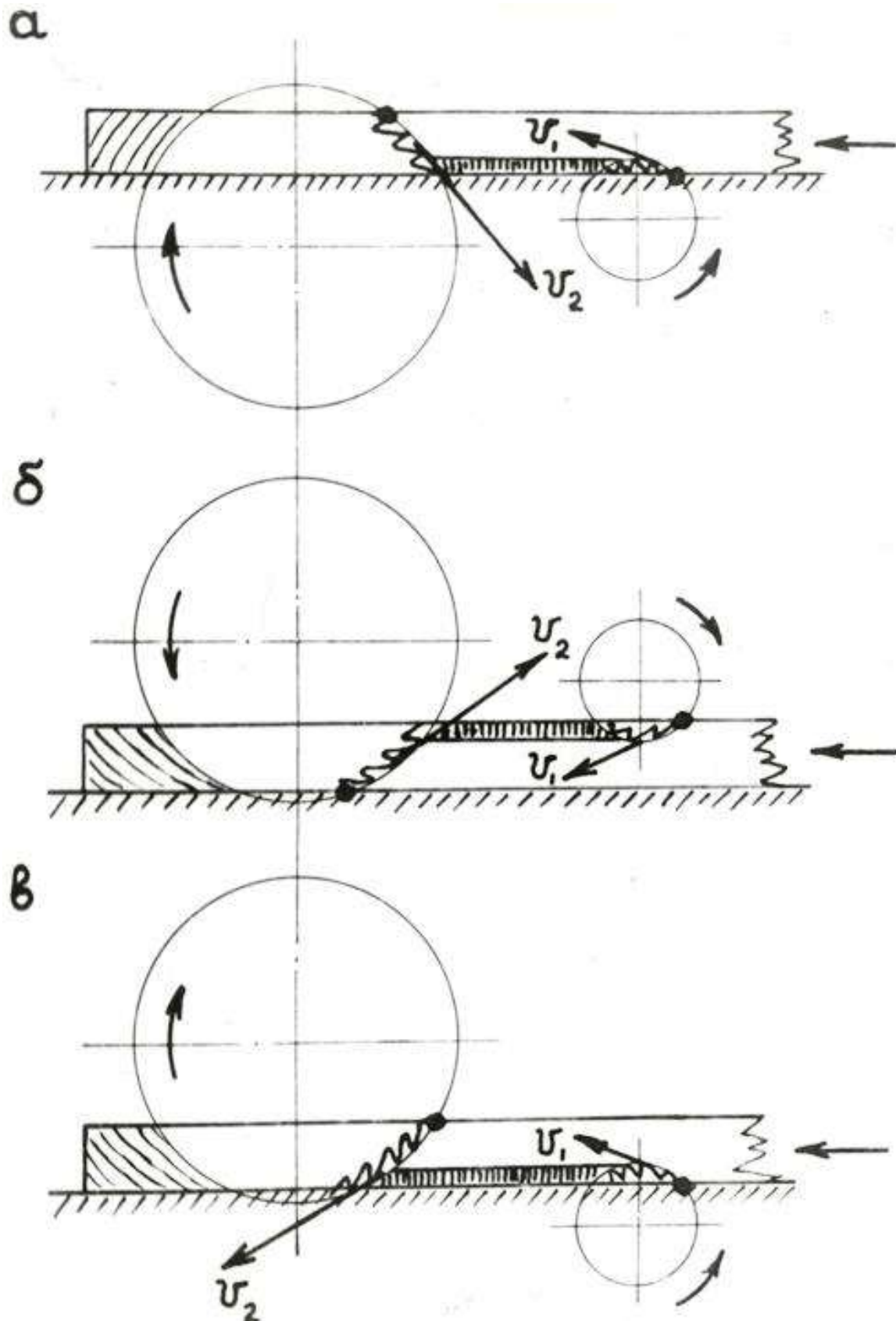


Рисунок 1. Схемы пиления при распиловке облицовочных плит

Библиографический список

1. Глебов И.Т. Дереворежущий инструмент. Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. 197 с.
2. Санев В.И., Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. Резание древесины и древесных материалов. СПб.: «Лань», 2018. 456 с.
3. Зотов Г.А. Дереворежущий инструмент. Конструкция и эксплуатация. СПб.: «Лань», 2010. 384 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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4629-6720
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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9168-3411
e-mail	alexander910@yandex.ru
ФИО	Лебедев Антон Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	ktk@mail.ru
ФИО	Дедерер Михаил Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	sp1kexx89@gmail.com
ФИО	Торочков Дмитрий Алексеевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации —
SPIN-код —
e-mail torochkov501@gmail.com

Аннотация

Качество поверхности в сильной мере связано с шероховатостью поверхности распила, сколами, вырывами и ворсистойостью. Шероховатость и степень ворсистойости зависят от таких фактов, как угол косой заточки зуба по передней грани, плотность плит, количество связующего в плитах, подача на резец, износ зубьев плиты.

Ключевые слова: качество поверхности, пиление дисковыми пилами.

УДК 621.941

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.29.21

Анализ кинематики резания древесных материалов дисковыми пилами

Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В., Дедерер М.А., Торочков Д.А.

Введение

В случае пиления облицованных древесностружечных плит дисковыми пилами кинематика резания не отличается от случая пиления цельной древесины: основные характеристики процесса, связанные с движением инструмента и материала, сохраняются [1]. Разница проявляется в результатах взаимодействия инструмента и материала [2]. Последняя тесно связана с структурой плит, их физико-механическими свойствами, особенностями стружкообразования и т.д. Схема пиления облицовочных плит дисковыми пилами и траектория резания показаны на рис. 1.

Согласно схемы *окружная скорость вращения вершины зуба* относительно оси пильного вала:

$$V_0 = \omega R = \frac{\pi D n}{60} \quad (1)$$

где: ω – угловая частота вращения пилы, 1/с; R – наружный радиус пилы, м; D – наружный диаметр пилы ($D = 2R$), м; n – частота вращения пилы, мин⁻¹.

Истинная скорость резания при пилении, т.е. фактическая скорость движения вершины зуба пилы по траектории резания (м/с):

$$V = \sqrt{2V_0^2 + U^2 + 2V_0U \cdot \cos\varphi} \quad (2)$$

где: U – скорость подачи материала, м/с; φ – угол встречи, рад.

В практике $V_0 \gg U$ и поэтому обычно принимают $V \approx V_0$.

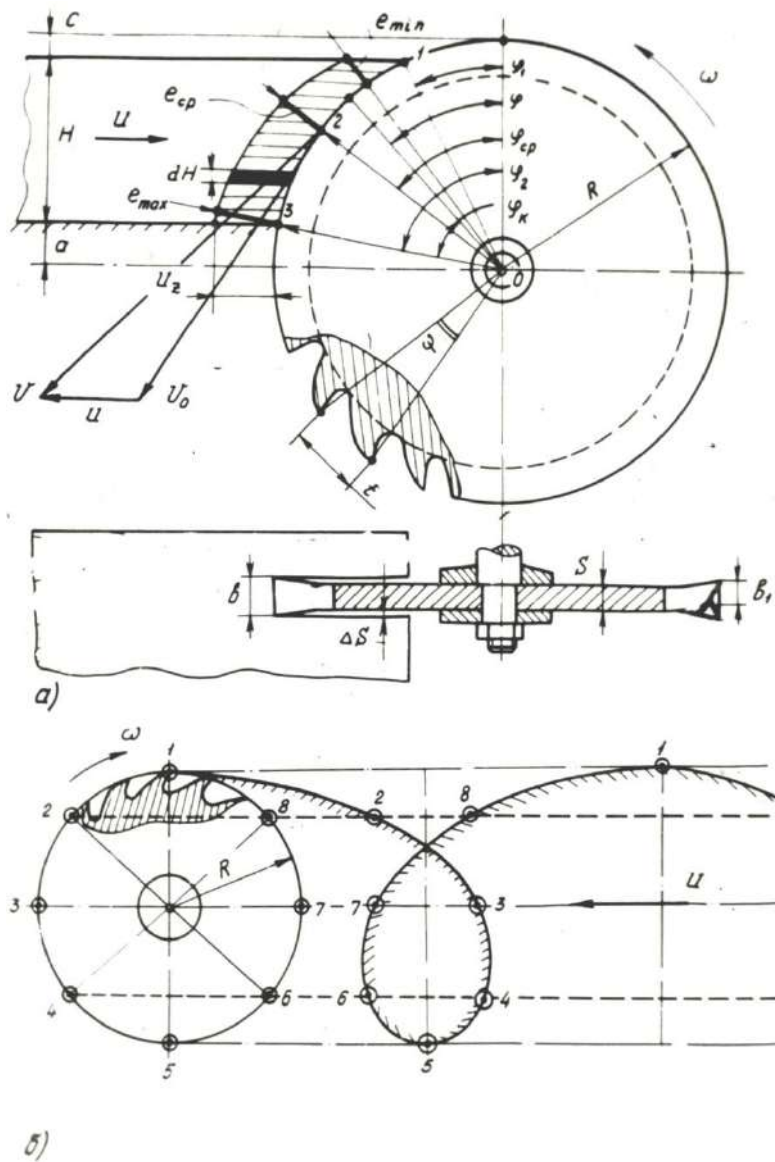


Рисунок 1. Схемы пиления при распиловке облицовочных плит

Подача на один зуб пилы:

$$U_z = \frac{1000 \cdot U}{n \cdot z} = \frac{\pi D t}{60 \cdot V \cdot z} = \frac{t \cdot U}{60 \cdot V}, \text{ мм} \quad (3)$$

где: U – скорость подачи материала, м/мин; z – число зубьев на пиле, шт; t – шаг зубьев, мм.

Толщина дуги контакта зуба с плитой. Она нарастает от точки входа зуба в плиту 1 к точке выхода 3, рис. 1.

При зубьях с прямой заточкой по передней грани:

$$e = U_z \sin \varphi = \frac{1000 \cdot U \cdot \sin \varphi}{n \cdot z} = \frac{t \cdot U \cdot \sin \varphi}{60 \cdot V} \quad (4)$$

При зубьях с косой заточкой по передней грани:

$$e = 2U_z \sin \varphi = \frac{2000 \cdot U \cdot \sin \varphi}{n \cdot z} = \frac{z \cdot t \cdot U \cdot \sin \varphi}{60 \cdot V} \quad (5)$$

Минимальная толщина стружки (мм).

При зубьях с прямой заточкой по передней грани:

$$e_{min} = U_z \sin \varphi_1 = U_z \sqrt{1 - \left(\frac{R-C}{R}\right)^2} \approx U_z \sqrt{\frac{2C}{R}} \quad (6)$$

При зубьях с заточкой по передней грани:

$$l'_{min} = 2U_z \cdot \sin \varphi_1 = 2U_z \sqrt{1 - \left(\frac{R-C}{R}\right)^2} \approx 2U_z \sqrt{\frac{2C}{R}} \quad (7)$$

Максимальная толщина стружки (мм).

При зубьях с прямой заточкой по передней грани:

$$l_{max} = U_z \cdot \sin \varphi_2 = U_z \sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}} \quad (8)$$

При зубьях с косой заточкой по передней грани:

$$l'_{max} = 2U_z \cdot \sin \varphi_2 = 2U_z \sqrt{1 - \frac{a^2}{R^2}} \quad (9)$$

где: a – расстояние от центра вращения пилы до рабочей поверхности стола (нижней пласти плиты), мм; C – выступ пилы над материалом (плитой), мм.

Средняя толщина стружки соответствует середине дуги контакта и находится на продолжении радиуса в точке [2]

$$l_{cp} = \frac{F}{l} = \frac{S_0^H U_z dh}{R \varphi_k} = \frac{57U_z h}{R(\varphi_2 - \varphi_1)} \quad (10)$$

где: F – площадь боковой поверхности стружки, мм²; l – длина дуги контакта, мм; φ_k – угол контакта, рад; φ_1 – угол входа зуба/точка 1/, рад; φ_2 – угол выхода зуба/точка 3/, рад; h – высота пропила, мм.

Так как значения углов входа и выхода соответственно равны:

$$\varphi_1 = \arccos \frac{h+a}{R} \quad (11)$$

$$\varphi_2 = \arccos \frac{a}{R} \quad (12)$$

то для расчета средней толщины стружки имеем следующие формулы:

При зубьях с прямой заточкой по передней грани

$$l_{cp} = \frac{57U_z h}{R \left(\arccos \frac{h+a}{R} - \arccos \frac{a}{R} \right)} \quad (13)$$

При зубьях с косой заточкой по передней грани

$$l = \frac{114U_z h}{R \left(\arccos \frac{a}{R} - \arccos \frac{h+a}{R} \right)} \quad (14)$$

Нагрузка на зуб пилы в любой момент времени определяется сечением среза стружки Q , которое может быть вычислено, как произведение толщины стружки

l на ее ширину b или b' , соответственно, при зубьях с прямой и косою заточкой по передней грани [3].

Таким образом *сечение среза стружки* (мм²):

При зубьях с прямой заточкой по передней грани:

$$Q = l \cdot b = b \cdot U_z \cdot \sin\varphi \quad (15)$$

При зубьях с косою заточкой по передней грани:

$$Q = l \cdot b = b \cdot U_z \cdot \sin\varphi \quad (16)$$

В том случае, если в пропилене одновременно находятся несколько зубьев, то суммарное сечение среза стружек:

при зубьях с прямой заточкой по передней грани:

$$Q_{c(max)} = b \cdot U_z [\sin\varphi_k + \sin(\varphi_k - \Psi) + \sin(\varphi_k - 2\Psi) + \dots] \quad (17)$$

$$Q_{c(min)} = b \cdot U_z [\sin(\varphi_k - \Psi) + \sin(\varphi_k - 2\Psi) + \dots] \quad (18)$$

при зубьях с косою заточкой по передней грани:

$$Q_{c(max)} = 2b_1 \cdot U_z [\sin\varphi_k + \sin(\varphi_k - \Psi) + \sin(\varphi_k - 2\Psi) + \dots] \quad (19)$$

$$Q_{c(min)} = 2b_1 \cdot U_z [\sin(\varphi_k - \Psi) + \sin(\varphi_k - 2\Psi) + \dots] \quad (20)$$

Среднее суммарное сечение среза зубьев (мм²)

$$Q_{c(ср)} = \frac{Q_{c(max)} + Q_{c(min)}}{2} \quad (21)$$

Количество зубьев, одновременно находящихся в пропилене при пилении:

$$m = \frac{l}{t} = \frac{R\varphi_k}{57t} = \frac{\varphi_k}{\Psi} = \frac{\varphi_k z}{360} \text{ шт} \quad (22)$$

где: t – шаг зубьев пилы, мм; l – длина дуги контакта зуба с плитой, мм; Ψ – угловой шаг зубьев пилы, рад; φ_k – угол контакта, рад; z – количество зубьев в пиле, шт.

Если длина дуги контакта l не кратна шагу зубьев t , то в пропилене действительное число зубьев m будет переменным двумя целыми числами, наиболее близкими к значению $\frac{l}{t}$. Траектория движения вершины зуба в плите (траектория резания) является результатом сложения вращательного движения пилы и непрерывного прямолинейного движения распиливаемого материала [3].

Уравнение траектории резания можно установить следующим путем.

Параметрические уравнения движения распиливаемого материала:

$$x_1 = u \cdot t; \quad y_1 = 0; \quad (23)$$

где: x_1 – горизонтальное перемещение распиливаемого материала в направлении подачи; y_1 – вертикальное перемещение распиливаемого материала (нормально к столу); t – текущее время; u – скорость подачи распиливаемого материала.

Параметрические уравнения движения вершины зуба пилы относительно оси вращения пильного вала

$$\begin{aligned} X_2 &= R \cdot \sin \omega \cdot t = R \cdot \sin \varphi \\ Y_2 &= R \cdot \cos \omega \cdot t = R \cdot \sin \varphi \end{aligned} \quad (24)$$

где X_2 – смещение вершины зуба по горизонтали; Y_2 – смещение вершины зуба по вертикали.

Параметрические уравнения относительного движения вершины зуба в плите при распиловке:

$$\begin{aligned} X &= X_1 + X_2 = R \cdot \sin \omega t + ut \\ Y &= Y_1 + Y_2 = R \cdot \cos \varphi \end{aligned} \quad (25)$$

Из уравнений (25) последовательно имеем

$$\begin{aligned} \cos \omega t &= \frac{Y}{R}; \quad \omega t = \arccos \frac{Y}{R} \\ t &= \frac{1}{\omega} \arccos \frac{Y}{R} = \frac{60}{2\pi n} \cdot \arccos \frac{Y}{R} \\ \sin \omega t &= \sqrt{1 - \frac{Y^2}{R^2}} = \frac{1}{R} \sqrt{R^2 - Y^2} \end{aligned} \quad (26)$$

Учитывая, что скорость подачи распиливаемого материала:

$$U = \frac{1}{60} \cdot U_z \cdot z \cdot n \quad (27)$$

то, после подстановки величин (26) и (27) в формулу (25) получим:

$$X = \frac{U_z \cdot z}{2\pi} \cdot \arccos \frac{Y}{R} + \sqrt{R^2 - Y^2} \quad (28)$$

Уравнение (28) и есть математическое описание траектории движения вершины зуба в плите при ее пилении дисковыми пилами. Кривая, которую описывает вершины зуба в сложном движении, относится к классу циклоид. В станках скорость резания в десятки раз превышает скорость подачи. Поэтому при многих практических расчетах истинную дугу циклоиды, по которой перемещается вершина зуба в относительном движении, с приближением можно заменить другой окружностью.

Библиографический список

4. Глебов И.Т. Дереворежущий инструмент. Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. 197 с.
5. Санев В.И., Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В. Резание древесины и древесных материалов. СПб.: «Лань», 2018. 456 с.
6. Зотов Г.А. Дереворежущий инструмент. Конструкция и эксплуатация. СПб.: «Лань», 2010. 384 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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4629-6720
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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9168-3411
e-mail	alexander910@yandex.ru
ФИО	Дедерер Михаил Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	sp1kexx89@gmail.com
ФИО	Торочков Дмитрий Алексеевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	torochkov501@gmail.com

Аннотация

В случае пиления облицованных древесностружечных плит дисковыми пилами кинематика резания не отличается от случая пиления цельной древесины: основные характеристики процесса, связанные с движением инструмента и материала, сохраняются. Разница проявляется в результатах взаимодействия инструмента и материала.

Ключевые слова: математическое моделирование, траектория движения, теория резания, дисковые пилы.

УДК 621.941

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.29.21

Анализ режимов эластичного цилиндрического шлифования древесины с позиции активных зерен

Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.,
Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.

Введение

В процессе шлифования имеет место массовое царапание-резание поверхностного слоя древесины множеством абразивных зерен, расположенных беспорядочно в шлифовальной шкурке. Шлифовальная шкурка представляет собой инструмент с прерывистой режущей кромкой, которой являются отдельные абразивные зерна. Значительная, основная, часть абразивных зерен имеет отрицательный угол резания [1].

Как показывают исследования, в процессе шлифования принимают участие не все зерна, находящиеся на поверхности шлифовальной шкурки, а лишь какая-то их часть – контактные зерна. Часть контактных зерен из-за малой глубины внедрения, в работе шлифования участия принимать не будут [1].

Установлено, что абразивные зерна имеют значительную разновысотность и несут неравномерную нагрузку в период шлифования древесины.

Экспериментальные исследования показали, что активные зерна в процессе шлифования частично выкрашиваются, а частично подвержены излому. Такое выкрашивание или разрушение зерен приводит к непрерывному изменению количества зерен, участвующих в работе, что существенным образом влияет на производительность шлифовального инструмента. Несомненно, что понятие – количество активных зерен на единице площади шлифовальной шкурки применительно на какой-то определенный промежуток времени, в период длительной работы инструмента, их число будет неизменно меняться [2]. Одновременно сделаны выводы о чистоте обрабатываемой поверхности, как факторе, характеризующем процесс шлифования древесины.

Исходными данными к расчету являются:

P – линейная нагрузка на 1 см длины шлифовального цилиндра, Н/см;
 b_k – ширина контактной площадки шлифовального цилиндра с обрабатываемым объектом, мм. Значение величины b_k определяется экспериментальным путем.

Зная величины P и b_k можно определить максимальное давление в зоне контакта шлифовального цилиндра, МПа:

$$q_{max} = \frac{P}{b_k} \quad (1)$$

Так как давление в зоне контакта цилиндра распределено неравномерно (рис. 1), то значение среднего давления прижима можно вычислить графически,

если изобразить в масштабе распределение давления в виде полуцилиндра с ординатой по оси цилиндра [2]:

$$q_m = \frac{b_k}{2} \quad (2)$$

Приравнивая значения объема полуцилиндра к объему параллелепипеда, построенного по длине контакта b_k как на основании, и имеющего высоту q_{cp} , получим:

$$\frac{\pi b_k^2}{8} = b_k \cdot q_{cp} \quad \text{или} \quad q_{cp} = \frac{\pi b_k}{8} \quad b_k = \frac{8q_{cp}}{\pi} \quad (3)$$

Подставляя выражение (2) в (3), получим:

$$q_{cp} = \frac{q_m}{1.27} \quad (4)$$

где q_{cp} – среднее давление прижима в зоне шлифования, МПа.

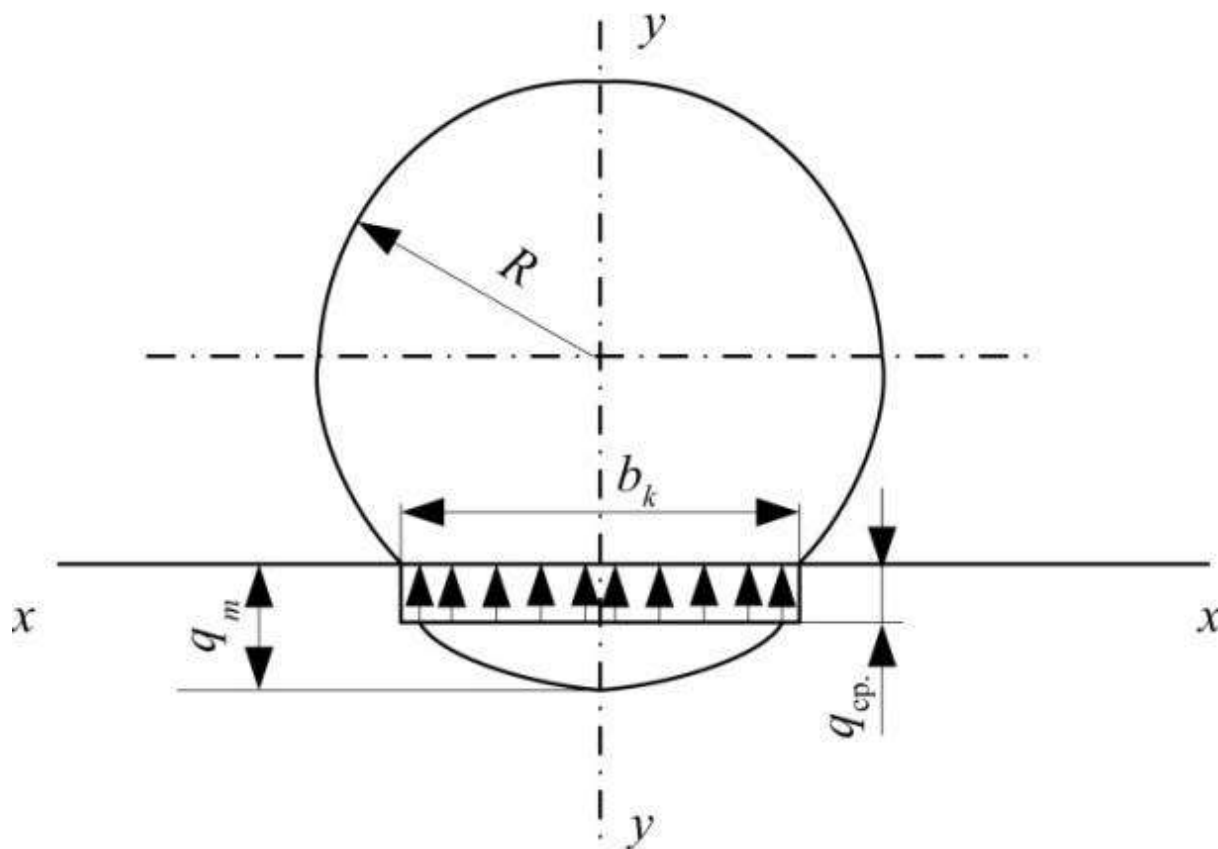


Рисунок 1. Схема распределения давления прижима в зоне контакта цилиндра с деталью

На основании q_{cp} и графика $ZK = f(q)$ определяем количество контактных зерен ЗК на единицу площади шлифовальной шкурки [3]. Далее определяется средняя нагрузка на единичное зерно на площади 1 см^2 :

$$Q_{cp} = \frac{q}{ZK} \quad (5)$$

По графику $\eta = f(Q)$ определяем среднюю глубину внедрения единичного зерна в исследуемую породу древесины.

Теоретическая форма сечения среза состоит из двух участков: сегментального в соответствии с округлением вершин абразивного зерна ρ и трапецидального на прямолинейном участке образующей абразивного зерна [3].

На основании проведенных исследований геометрии абразивных зерен известно, что зерно Э5 №40 имеет средний радиус округления вершин $\rho = 24$ мкм, а $\varepsilon = 87^\circ 32'$ (рис. 2).

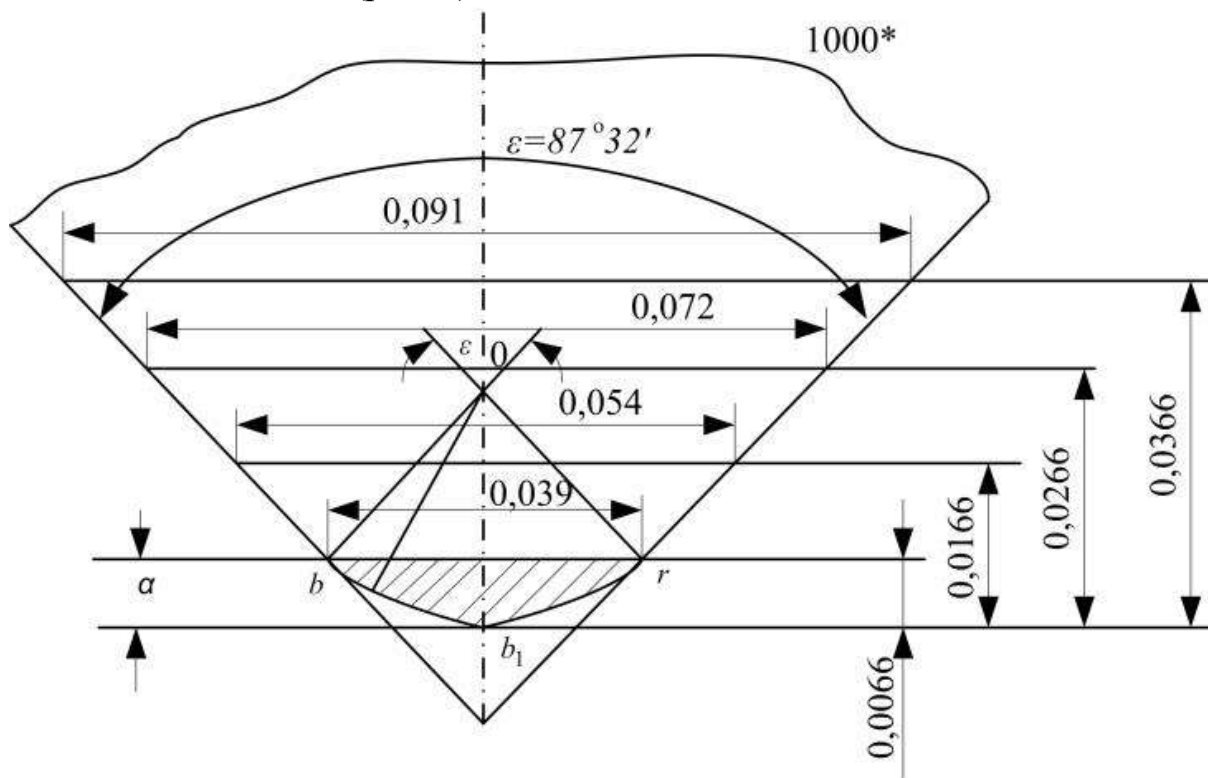


Рисунок 2. Профиль теоретического сечения зерна Э5 №25

Далее, по глубине внедрения единичного абразивного зерна и соответствующему профилю теоретического сечения зерна, вычисляется площадь поперечного сечения стружки снимаемой единичным зерном F_1 .

Для данных режимов работы известно, число контактных зерен на единице площади шлифовальной шкурки, соответственно, можно определить теоретическую общую площадь удаленной древесины группой контактных зерен, расположенных на единице площади шлифовальной шкурки:

$$F_{\text{общ}} = ZK \cdot F_1 \quad (6)$$

где $F_{\text{общ}}$ – общая площадь сечения удаленной древесины, мкм²; F_1 – теоретическая площадь сечения снимаемой стружки одним контактным зерном, мкм².

Время контакта заготовки на длине контактной площадки со шлифовальной шкуркой определяется:

$$t = \frac{b_k}{u} \quad (7)$$

где b_k – ширина контактной площадки, см; u – скорость подачи древесины, см/с

Общую длину шлифовальной ленты, контактирующей с обрабатываемой древесиной за время t , или число циклов шлифования 1 см^2 шлифовальной шкурки на ширине контактной площадки определим по формуле:

$$L = t \cdot V \quad (8)$$

где t – время контакта, с; V – скорость шлифования, см/с.

Общая теоретическая поперечная площадь древесины, снимаемая шлифовальной шкуркой за полный цикл шлифования определяется по формуле, мкм²:

$$\sum F = L \cdot F_{\text{общ}} \quad (9)$$

Подставляя в формулу (9) значения (6) и (8) получим окончательное выражение:

$$\sum F = t \cdot V \cdot 3K \cdot F_1 \quad (10)$$

Тогда общая теоретическая толщина снимаемого слоя S'_T , мкм:

$$S'_T = \frac{\sum F}{l} \quad (11)$$

где l – длина реплики, равная 10 мм.

Известно, что действительное сечение абразивного зерна значительно отличается от принятого среднего теоретического сечения и имеет различные формы, что непосредственно влияет на площадь поперечного сечения снимаемой части древесины. Кроме того, при повторном проходе по ранее сделанной царапине при той же нормальной силе внедрения углубляет царапину лишь на 12-15% от глубины первого следа. Часть контактных зерен вообще не участвует в срезании древесины из-за малой глубины их внедрения по отношению к радиусу закругления их вершин. Поэтому в расчет теоретической производительности процесса шлифования вводится поправочный коэффициент:

$$c_{\text{общ}} = \frac{S_3}{S'_T} \quad (12)$$

где S_3 – толщина снимаемого слоя древесины при экспериментальном исследовании, мкм.

Общий коэффициент, на основании проведенных исследований, можно представить как состоящий из произведения отдельных коэффициентов:

$$c_{\text{общ}} = c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \quad (13)$$

где c_1 – коэффициент отношения ЗА/ЗК при данных режимах работы; c_2 – коэффициент, учитывающий соотношение размера (по высоте) удаленной древесины в стружке по сравнению с глубиной царапины; c_3 – коэффициент

формы резца; c_4 – коэффициент, учитывающий возможность попадания зерен, расположенных на одной линии с первым зерном, оставляющим глубокую царапину, но по высоте меньших первого и, следовательно, не образующих стружек.

Таким образом, подставляя в формулу (11) зависимости (8), (9) и (10) получим окончательное значение теоретической производительности процесса шлифования древесины с позиции активных зерен:

$$S'_T = \frac{b_k}{u} \cdot V \cdot 3K \cdot F_1 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4 \cdot 10^{-4} \quad (14)$$

Анализируя полученную зависимость, можно сделать следующие выводы:

1. Производительность процесса шлифования, выраженная толщиной снимаемого слоя древесины, зависит от скоростных режимов процесса (скорости резания и скорости подачи). С увеличением скорости резания производительность шлифования увеличивается, в то время, как при увеличении скорости подачи – уменьшается.
2. На производительность шлифования, при всех равных условиях, влияет ширина контактной площадки в зоне резания. При увеличении ширины контактной площадки производительность процесса растет и наоборот.
3. Величина давления прижима оказывает решающее значение на производительность процесса шлифования. С увеличением давления прижима увеличивается количество контактных зерен на единице площади шлифовальной шкурки и при всех равных условиях процесса производительность шлифования растет

Библиографический список

1. Попов Ю.П. Исследование работоспособности шлифовальной шкурки. М.: Машгиз, 1964.-20с.
2. Кравчук В.И. Исследование и разработка методов повышения эффективности ленточного шлифования путем улучшения рельефа абразивного слоя. Киев, 1982.-20с.
3. Sergeevichev A, Belonogova N., Sergeevichev V., Byzov V., Mikhailova A. Investigation of the influence of certain factors on the quality of processing during hard grinding. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 5th Pan-Russian Scientific Technical Conference on Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education, FR 2020; St. Petersburg State Forest Technical University Saint Petersburg; Russian Federation. Vol 574(1), 2020.DOI: 10.1088/1755-1315/574/1/012072.

Сведения об авторах

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	4629-6720
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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9168-3411
e-mail	alexander910@yandex.ru
ФИО	Лебедев Антон Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	ktk@mail.ru
ФИО	Дедерер Михаил Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	sp1kexx89@gmail.com
ФИО	Торочков Дмитрий Алексеевич
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	—
e-mail	torochkov501@gmail.com

Аннотация

В процессе шлифования имеет место массовое царапание-резание поверхностного слоя древесины множеством абразивных зерен, расположенных беспорядочно в шлифовальной шкурке. Шлифовальная шкурка представляет собой инструмент с прерывистой режущей кромкой, которой являются отдельные абразивные зерна. Значительная, основная, часть абразивных зерен имеет отрицательный угол резания.

Ключевые слова: абразивная обработка древесины, активные зерна.

УДК 621.941:216.01

К вопросу шлифования древесины и древесных материалов

**Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.,
Лебедев А.А., Дедерер М.А., Торочков Д.А.**

Введение

В настоящее время одной из основных проблем, стоящих перед отечественной деревообрабатывающей промышленностью, является повышение рентабельности производства и конкурентоспособности продукции. В условиях рыночных отношений от производителей машиностроительной продукции требуется изыскивать новые резервы для повышения эффективности производства, сокращать сроки его технического и технологического перевооружения, повышать качество и долговечность изделий. Интенсификация машиностроительного производства связана с модернизацией станочного парка, применением новых видов инструментов и внедрением новейших технологий механической обработки древесины. Решение этих задач позволит повысить экономическую эффективность промышленности, снизить трудоемкость продукции. Задачей деревообрабатывающей промышленности становится производство высокотехнологичной, конкурентоспособной, наукоемкой продукции.

В современных изделиях из древесины и материалов на ее основе используются различные конструктивные решения, призванные подчеркнуть их уникальность, а также привлечь внимание покупателей, удовлетворив их вкусовые предпочтения. В связи с этим возникает необходимость обработки шлифованием поверхностей сложных форм.

Долговечность, надежность и экономичность производимых изделий напрямую зависит от точности и качества поверхности отдельных деталей, поэтому доля финишных операций в деревообработке в последние годы постоянно увеличивается. Самым распространенным методом финишной обработки древесины и древесных материалов является шлифование.

Процесс шлифования древесины и древесных материалов – сложный процесс, который сопровождается теплофизическими, механическими и электрическими явлениями, что дает почву для проведения дальнейших научных и экспериментальных исследований.

Шлифование – это последний цикл подготовки древесины, позволяющий получить ровную, гладкую поверхность. К пиломатериалам производители шлифование применяют достаточно редко, этот тип древесной продукции является заготовкой и не требует подобных мер, а вот плитные материалы такую

обработку проходят практически все без исключения – фанера, плиты OSB, ДВП, ДСтП и другие материалы [1].

Ленточное, цилиндрическое и вибрационное шлифование применяют для уменьшения шероховатости поверхности древесины, вызванной ее анатомическим строением или механической обработкой. Для шлифования древесины и древесных материалов применяются шлифовальные шкурки на тканевой и на бумажной основе. Шлифовальные шкурки состоят из гибкой основы, абразивного материала и связующего, которое позволяет скреплять абразивные зерна и основу.

Шлифование с использованием инструмента на эластичной основе является относительно новым, весьма перспективным видом абразивной обработки. Оборудование для ленточного шлифования просто по конструкции и экономично в эксплуатации. В отличие от традиционных шлифовальных станков оно не требует специальных устройств для защиты от возможного разрыва круга, сложных и дорогостоящих приспособлений для балансировки и правки инструмента, легко встраивается практически в любой технологический процесс. Применение шлифовальных лент большой ширины дает возможность обрабатывать крупногабаритный материал, а наличие у лент эластичной основы позволяет обрабатывать криволинейные поверхности больших размеров. Эти обстоятельства делают неоспоримыми преимущества ленточного шлифования по сравнению с цилиндрическим и вибрационным [2].

Технология шлифования абразивными лентами существенно отличается от других видов шлифования. Основными отличиями являются кинематические и динамические особенности ленточно-шлифовальных станков, использование однослойного абразивного инструмента на эластичной основе с упорядоченным расположением абразивных зерен на режущей поверхности, возможность управления выходными параметрами процесса [3].

Широкое распространение ленточного шлифования сдерживается отсутствием теории определения рациональных областей его использования, практических рекомендаций и методик, необходимых для получения требуемой точности и качества обработанных поверхностей при наименьших затратах. В связи с этим, разработка теории и методов повышения эффективности процесса шлифования абразивными лентами с учетом получения требуемого качества изделия, представляет собой актуальную задачу, имеющую большое народно-хозяйственное значение [4].

Решить данную проблему можно путем глубокого анализа явлений, сопровождающих шлифование абразивными лентами на основе методов математического моделирования процесса резания и его выходных характеристик.

Библиографический список

1. Сергеевичев, А. В. Состояние вопроса шлифования древесины. Сборник мат-в междунар. Научно-практ конф. Молодых ученых СПб.: СПбГЛТА, 2010. С. 134-136.
2. Каменев Б. Б., Сергеевичев А. В. Дереворежущие инструменты: учебное пособие. СПб.: СПбГЛТУ, 2013. 332 с.
3. Карлов, Г.П., Корчма И. С. Стойкость дереворежущего инструмента как фактор надежности технической системы. Красноярск.: СибГТУ, 2006.
4. Сергеевичев А. В. Основные характеристики процесса шлифования древесины и древесных материалов. Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. №206. С. 124-138.

Сведения об авторах

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 4629-6720
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, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9168-3411
e-mail alexander910@yandex.ru

ФИО Лебедев Антон Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail ktk@mail.ru

ФИО Дедерер Михаил Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail sp1kexx89@gmail.com

ФИО Торочков Дмитрий Алексеевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код —
e-mail torochkov501@gmail.com

Аннотация

Самым распространенным методом финишной обработки древесины и древесных материалов является шлифование. Шлифование древесины и древесных материалов – сложный процесс, который сопровождается теплофизическими, механическими и электрическими явлениями. Ленточное, цилиндрическое и вибрационное шлифование применяют для уменьшения шероховатости поверхности древесины, вызванной ее анатомическим строением и механической обработкой.

Ключевые слова: шлифование древесины и древесных материалов, абразивный инструмент.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 66.29.21

6. ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ

SMART-стандарты и их использование в лесном комплексе

Гордеева К.Д., Шифрин Б.М., Елисеев И.В.

Введение

В условиях рыночной экономики стандартизация, в качестве одного из элементов технического регулирования, помогает обеспечивать вклад в экономический рост. На примере многих развитых стран можно убедиться, что стандартизация помогает эффективному развитию национальной экономики посредством совершенствования обменов товарами и услугами на основе согласованных международных стандартов и процедур. Например, по данным экспертов в Германии, треть ежегодного экономического прироста многие годы относилась к эффекту от применения стандартов. Россия в этом отношении отстает от других стран, но в то же время обладает значительным потенциалом сотрудничества в области энергетических, водных и лесных ресурсов.

Современное лесное хозяйство является важным звеном в сфере технического регулирования и стандартизации. Существующая нормативно-методическая база нуждается в совершенствовании как в связи с новыми требованиями законодательства в области технического регулирования и лесных отношений, так и с необходимостью цифровой трансформации ЛПК, требующей переход нормативно-технической документации в новый формат. Однако, для чего нужна цифровизация лесного хозяйства?

Согласно данным Минпромторга, доля России в мировом объеме продукции лесопромышленного комплекса (ЛПК) составляет 3%, на Финляндию приходится 8,4%, Швецию — 10,1%, США — 12,7% Канаду — 17,3% [1]. Добавленная стоимость на единицу заготовленной древесины в России в 2 раза ниже, чем в Канаде, в 5 раз ниже, чем в США, и в 6 раз ниже, чем в Финляндии. Поскольку как государство, так и бизнес заинтересованы в получении максимально возможного дохода с каждого дерева, в Стратегии развития лесного комплекса РФ до 2030 года обозначены основные направления большой работы, где в отдельном блоке выделены мероприятия по развитию информатизации и цифровизации ЛПК [2].

Т.к. экологические, экономические и социальные требования становятся все более жесткими, государство устанавливает контроль над лесным фондом при помощи цифровизации ЛПК, дающей сразу несколько возможностей: представление о реальном состоянии лесов и о влиянии на них деятельности предприятий; информацию об объемах перерабатываемого леса на определенных территориях; информация о транспортировке лесных ресурсов,

количество активных лесопользователей и отслеживание соблюдения законов в их деятельности.

В связи с меняющимися условиями меняются и стандарты управления лесами: они стремительно переходят в цифровой формат. Одной из новейших разработок в сфере стандартизации являются SMART-стандарты.

SMART-стандарты – это документы, содержащие структурированные данные в виде таблиц, графики, формул и т.д., основное отличие которых от обычных стандартов состоит в том, что они являются машиночитаемыми, т.е. автоматически считываемыми содержащуюся в них информацию и не требующими участия человека-оператора. Аббревиатура SMART расшифровывается как Standards Machine Applicable, Readable and Transferable. Основным потребителем данного вида стандартов является компьютерная система [3].

Всего выделяется 5 уровней машиночитаемости документа, начиная с 0-го уровня (бумажный носитель) до высшего 4-го уровня, на котором используются системы управления требованиями, интегрированные с CAD/CAM, PLM/PDM-системами, системами, основанными на BIM-технологиях, автоматизированными системами управления технологическими процессами (АСУТП) и иными управляющими системами, контролирующими выполнение требований стандартов.

К 4 уровню машинопонимаемости стремится вся мировая стандартизация — в том числе российская. Все отрасли экономики постепенно начнут жить по SMART-стандартам — поэтому компания «Кодекс» занимает активную позицию по вопросу SMART-стандартов, участвует в их разработке на государственном уровне в рамках Проектного технического комитета № 711 «Умные (SMART) стандарты» и реализует собственную концепцию SMART-стандартов на цифровой платформе «Техэксперт».

В технических регламентах, национальных и международных стандартах, сводах правил содержатся требования к продуктам и услугам, которые специалист той или иной отрасли должен самостоятельно трактовать и применять. Но массовая цифровизация и автоматизация производства — как в России, так и за рубежом — создают потребность в документах другого рода. По словам руководителя Росстандарта Антона Шалаева, в условиях нового промышленного уклада стандарт должен стать не просто настольной книгой инженера и технолога, а реальной моделью или базой данных, которые можно интегрировать в информационную систему, программный комплекс, технологическую линию цифровых производств [4].

На данный момент цифровизация мировой промышленности, в т.ч. и в лесной отрасли, сильно отстаёт от текущего уровня развития технологий, т.к.

деятельность промышленных предприятий регламентирована множеством как внешних, так и внутренних нормативных документов, форматы представления которых сильно устарели и для работы в условиях нового технологического уклада не являются пригодными. Уже действующие документы следует постепенно переводить в SMART-формат, а новые — разрабатывать с нуля как SMART-документы.

Стратегическое внедрение SMART-стандартов — это задача перехода стандартизации на 3 и 4 уровни машиночитаемости документов, требующая кардинального изменения системы стандартизации. Техническое руководящее бюро ИСО по SMART-стандартам определило около 50 мероприятий, которые посвящены этому вопросу и должны быть реализованы в период с 2021 по 2025 годы. Среди тем мероприятий: изменения в процессах стандартизации, культурные изменения в стандартизации, изменения в системе управления стандартизацией, вопросы кибербезопасности, управления авторскими правами и обучения специалистов.

Лесная отрасль на данный момент активно внедряет автоматизирующие системы, например, решение “SmartTimber” – подсчет круглого леса при помощи алгоритмов компьютерного зрения и машинного обучения. Интегрирование приложения с системой SMART-стандартов может помочь эффективно отслеживать соблюдение действующих требований к круглым лесоматериалам [5].

Заключение

Государственный курс на цифровизацию активно укрепляется: 5 июля 2021 года премьер-министр Михаил Мишустин выступил на главной стратегической сессии международной промышленной выставки «ИННОПРОМ-2021» с речью о необходимости перехода к новому технологическому укладу и анонсировал Стратегию цифровой трансформации промышленности РФ. 14 июля Минпромторг РФ опубликовал «Стратегию цифровой трансформации обрабатывающих отраслей промышленности», которая, помимо всего прочего, подразумевает субсидии на разработку и внедрение российского промышленного ПО, а также технологий «цифровых двойников», предиктивной аналитики, промышленного интернета вещей и т. д. [6]

Поскольку лесная отрасль также задействована в процессе цифровизации промышленности, очень важно правильно организовать нормативно-методическую базу для дальнейшего развития и функционирования лесного хозяйства при помощи современных методов, таких как SMART-стандарты.

Библиографический список

1. Официальный сайт Минпромторг РФ: <https://minpromtorg.gov.ru/>

2. Распоряжение правительства РФ от 20 сентября 2018 г. № 1989-р: <http://static.government.ru/media/files/cA4eYSe0MObgNpm5hSavTdIxID77KCTL.pdf>
3. Официальный сайт ФГБУ «РСТ»: <https://www.gostinfo.ru/pages/Standardization/ptk711>
4. Антон Шалаев – о современной философии стандартизации: <https://expertnw.com/ekspertnoe-mnenie/anton-shalaev-o-sovremennoy-filosofii-standartizatsii/>
5. Официальный сайт приложения «SmartTimber»: <https://smart-timber.com/>
6. Выступление Михаила Мишустина на международной промышленной выставке «Иннопром-2021»: <http://government.ru/news/42682/>

Сведения об авторах

ФИО Гордеева К.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 gordeeva.kd@gmail.com

ФИО Шифрин Борис Маркович
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 Елисейев Игорь Владимирович
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

Аннотация

Статья посвящена вопросам использования SMART-стандартов в условиях цифровизации промышленности, в частности, лесной отрасли. Раскрывается важность перехода стандартизации на новый уровень машиночитаемости документов в условиях нового технологического уклада. Поднимаются вопросы организации нормативно-методической базы в современных реалиях.

Ключевые слова: цифровизация ЛПК, стандартизация, SMART-стандарты, машиночитаемые документы.

УДК 60.608

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 28.19.00

SCADA-системы как инструмент проектирования АСУ ТП

Шалабот А.И., Шифрин Б.М., Елисеев И.В.

Введение

Без применения автоматизации технологических процессов в настоящий момент не обходится практически ни одна отрасль производства. Проектирование и разработка АСУ ТП ведётся наряду с внедрением SCADA систем в производство, что делает такую систему универсальной, нередко распределенной системой управления.

В АСУ ТП объектами управления являются технологические процессы, представляющие совокупность способов и средств проведения конкретных производственных операций по изготовлению промышленной продукции. В таких системах осуществляют контроль технологических параметров, определяющих режим и качество обработки, состояние механизмов и др. Задачей управления является оптимизация этих параметров. АСУ ТП характеризуется возможностью полного исключения человека из контура управления.

Важным преимуществом АСУ ТП является уменьшение влияния человеческого фактора на управляемый процесс, сокращение численности штата работников, экономия сырья и расходных материалов, ну и, конечно же, повышение качества производимой продукции, что в конечном итоге влияет на эффективность производства.

При всех плюсах и положительных эффектах от внедрения автоматических систем управления техпроцессами сама работа не является такой простой, как это представляется изначально. Перевод производства на автоматическое оборудование связан с рядом проблем, которые могут существенно повлиять на успех такой модернизации. Весь комплекс трудностей автоматизации можно условно разделить на два типа – организационные и технологические [1, 2].

Перечень организационных проблем, которые приходится решать в процессе автоматизации производства, включает следующие вопросы:

- Расчёт экономической целесообразности автоматизации.
- Выявление производственных участков, нуждающихся во внедрении АСУ ТП.
- Проектирование системы с требуемыми параметрами.
- Создание подразделения для поддержания автоматики в рабочем состоянии.
- Обучение и аттестация персонала, эксплуатирующего автоматизированные станки.

Кратко охарактеризуем каждую из указанных проблем.

Экономические расчёты необходимы для изыскания нужных объёмов финансирования, так как внедрение АСУ ТП даже на небольших предприятиях является достаточно затратным делом. Выявление участков для автоматизации и проектирование системы нужны для принятия конкретных технических решений, например, подбора оборудования, его конфигурирования и т.д. И, наконец, за счёт создания сервисного подразделения и обучения персонала обеспечивается длительный срок службы установленной на предприятии автоматики.

Для решения обозначенных проблем рекомендуется привлекать специализированные организации. Привлечение профессиональных специалистов позволит избежать серьёзных ошибок и добиться максимальной эффективности внедряемой автоматики.

Технологические трудности, возникающие в процессе автоматизации производства, связаны, прежде всего, с необходимостью внесения конструктивных изменений в структуру предприятия. В данном случае речь идёт, в первую очередь, о монтаже автоматизированного оборудования и следующих аспектах:

- реконструкция производственных помещений;
- видоизменение системы электроснабжения;
- реорганизация взаимодействия модернизируемого участка с остальными;
- внесение изменений в технологические регламенты предприятия.

Внедрение автоматизированных систем управления предприятием является сложным процессом. Тем не менее, некоторые проблемы, возникающие при внедрении системы, достаточно хорошо изучены, формализованы и имеют эффективные методологии решения. Заблаговременное изучение этих проблем и подготовка к ним значительно облегчают процесс внедрения и повышают эффективность дальнейшего использования системы. Грамотная постановка задач менеджмента является важнейшим фактором, влияющим на успех деятельности предприятия и на успех проекта автоматизации. Прежде чем подвергать автоматизации определенную область деятельности предприятия, необходимо ее детально изучить с точки зрения грамотности построения бизнес-процессов.

При внедрении АСУ ТП в большинстве случаев возникает активное сопротивление конечных пользователей системы, которое является серьезным препятствием для консультантов и способно нарушить или затянуть проект внедрения. Это вызвано несколькими человеческими факторами: страх перед нововведениями, консерватизм, опасение потерять работу или утратить свою незаменимость, боязнь существенно увеличивающейся ответственности за свои действия.

На некоторых этапах проекта внедрения временно возрастает нагрузка на сотрудников предприятия. Это связано с освоением новых знаний и технологий. Во время проведения опытной эксплуатации и при переходе к промышленной эксплуатации в течение некоторого времени приходится вести дела как в новой системе, так и продолжать ведение их традиционными способами (поддерживать бумажный документооборот и существовавшие ранее системы) [3, 4].

Для решения этих проблем необходимо создать у сотрудников всех уровней ощущение неизбежности внедрения; подкрепить организационные решения по вопросам внедрения изданием соответствующих приказов и письменных распоряжений.

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – это программный пакет, предназначенный для обеспечения работы в реальном времени систем сбора, обработки, отображения и архивирования информации об объекте, а также контроля и управления объектом.

Качество производимой продукции или даже человеческая жизнь часто напрямую зависят от принимаемых диспетчером решений. По этой причине внедрение данных систем на предприятиях нацелено на создание удобного рабочего места, простоты и понятности рабочего интерфейса, вывода подсказок и блокирования допускаемых оператором ошибок, что в свою очередь воздействует на развитие эргономичности и улучшения экспертных систем. SCADA-системы реализуют многообразие функций, которые разделены на несколько групп:

- работа с функциями безопасности;
- автоматизация процесса управления;
- диспетчеризация объектов управления;
- архивация истории протекающих процессов;
- работа с общесистемными функциями.

Процесс разработки SCADA состоит из следующих операций:

- Создание графического интерфейса, которое включает разработку:
 - графиков;
 - мнемосхем;
 - всплывающих окон;
 - таблиц;
 - элементов ввода команд оператором и т.д.
- Процесс программирования и настройка алгоритмов работы системы промышленной автоматизации АСУ ТП, которая может быть выполнена несколькими способами:
 - при подключении оборудования;
 - в режиме эмуляции оборудования.

- Настройка систем промышленной коммуникации, к которым относятся:
 - модемы;
 - коммуникационные контролеры;
 - промышленные сети.
- Создание баз данных с последующим подключением SCADA-системы.
- Создание подробных инструкций пользователя;
- Обучение персонала.

При первом приближении процесс работы со SCADA-системой сводится к нескольким действиям: выбор параметров обмена данными с ПЛК, разработка мнемосхем в специальном редакторе, настройка логирования событий и состояний параметров. Для обеспечения сложного поведения графических элементов мнемосхем и несложных математических расчетов используется написание скриптов или вообще предполагается, что достаточно средств простейшей анимации, настраиваемой в редакторе.

Такой подход во многом себя оправдывает — легко обучиться, можно быстро реализовать несложные проекты. По большому счету, можно даже не иметь минимальных знаний о программировании для начала работы.

Сегодня существует довольно большое количество SCADA-систем, различающихся по своим возможностям, стоимости, удобству разработки и т.д., однако всё не так просто [5].

Как только возникает необходимость в создании большого проекта с большим числом элементов на мнемосхемах или потребность в сколько-нибудь заметных объемах вычислений, сразу бросается в глаза очень низкая скорость работы. Особенно печально выглядит ситуация, когда приходится перекладывать расчеты на ПЛК, хотя его быстродействие несопоставимо ниже современных ПК. Чаще всего и об организации выполнения нескольких потоков также можно забыть.

Попытка сделать что-нибудь, не предусмотренное разработчиками SCADA, легко выливается в очень нетривиальные решения с огромными трудозатратами.

Закрытость внутренних механизмов и неполная документация. Например, довольно затруднительно найти для коммерческих SCADA полноценное описание форматов хранения данных и структуры БД.

Многие авторы статей о современных стратегиях разработки ПО негативно отзываются о распространенном подходе, когда созданию нового функционала уделяется несравнимо большее внимание, чем оптимизации и тестированию кода. К сожалению, это часто наблюдается и в мире SCADA. Порой в процессе разработки приходится больше времени потратить на обходные недокументированные поведения системы, чем, собственно, на разработку. А ведь это промышленные системы с повышенными требованиями к надежности.

Высокая стоимость – при создании большого промышленного объекта стоимостью в несколько миллионов выделить 5-10 тыс. евро – не проблема, но если речь ведется об относительно недорогом оборудовании, выпускаемым большим тиражом, затраты даже в 200 евро на один экземпляр могут оказаться непоправимой роскошью.

Теперь, получив представление о трудностях, попробуем сформулировать требования к идеальной SCADA и посмотрим, можно ли решить проблему, если слегка выйти за рамки традиционной парадигмы.

Необходима высокая скорость работы. Это означает, что не должно быть никаких интерпретаторов, на выходе надо получить исполняемый машинный код.

Возможность легко и без существенных рисков изменять поведение существующих компонентов или добавлять свои.

Прозрачность форматов хранения настроек и исторических данных. К примеру, необходимость сделать специфическую выборку из архивов для построения отчетов не должна выливаться в длительный реверс инжиниринг инструментов, входящих в состав SCADA.

Простота и скорость разработки. Необходимо свести к минимуму написание кода и по максимуму использовать визуальное программирование. Если для работы над проектом по автоматизации будет необходимо затрачивать заметно большие усилия по сравнению с коммерческими SCADA, то вероятность, что это будет пользоваться спросом, невелика.

Удобная и современная среда разработки (IDE). Необходимы привычные инструменты любого программиста: автодополнение кода, контроль версий и т.п.

Низкая стоимость стороннего ПО, а в идеале бесплатность и открытость исходного кода.

Все эти требования необходимо реализовать при минимально возможных затратах усилий нескольких разработчиков.

Отсюда напрашивается решение – надо взять существующую хорошую среду для визуального программирования и создать к ней библиотеку компонентов, заточенных под специфические задачи SCADA-систем.

Как в итоге должна работать, к примеру, система учета простоев оборудования? Система автоматически собирает информацию о текущих состояниях оборудования и фиксирует продолжительность простоев. Оператор квитирует (подтверждает) возникновение события о простое и указывает причину на специально установленных терминалах, расположенных непосредственно в зоне его работы. В системе учета реализован режим

автокомментирования причин, что возможно за счет анализа статистических данных о типе и длительности простоев оборудования на линии.

Вся информация о простоях сохраняется в базе данных, что позволяет создавать отчет об эффективности работы оборудования. Система позволяет сгенерировать такие отчеты, как:

- таблица простоев;
- сравнение фактически достигнутых показателей производства с целевыми показателями;
- графическое отображение величины простоев по группам;
- динамика изменений величины простоев по типу и показателям эффективности;
- таблица достижений целей с привязкой к производственной смене;
- таблица достижений специалистов;
- отчет выпущенной продукции.

Учет простоев и анализ производительности оборудования позволяет минимизировать количество незапланированных простоев, что положительно сказывается на общей картине эффективности производства.

В результате внедрения системы учета простоев производство получает:

- снижение количества незапланированных простоев;
- повышение эффективности производственных линий;
- автоматически генерируемый журнал неисправностей.

Заключение.

В заключение можно отметить, что к решению всех проблем внедрения АСУ ТП – и организационных, и технологических – нужно подходить комплексно. Каждое предприятие имеет свою уникальную организационную специфику, и при внедрении АСУТП могут возникать различные нюансы, которые требуют дополнительного рассмотрения и поиска методов решения. В этом случае сокращается продолжительность процесса автоматизации, что является несомненным приоритетом как с коммерческой, так и с технической точек зрения.

Библиографический список

1. Коростелев, В. Ф. Системный подход к проектированию АСУ ТП / В. Ф. Коростелев, В. А. Хайназарова // Наукосфера. – 2021. – № 7-2.
2. Биленко, В. А. АСУ ТП как основа существенного повышения уровня автоматизации / В. А. Биленко // Энергетик. – 2007. – № 10. – С. 14-18.
3. В. М. Shifrin, I. V. Eliseev, V. A. Sokolova, V. A. Kalyashov. Development of a model of the single information space of the enterprise supporting the replacement of layers // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Scientific Conference Interstroyemh - 2019, ISM 2019, Kazan, 12–13 сентября 2019 года. – Kazan: Institute of Physics Publishing, 2020. – P. 012077. – DOI 10.1088/1757-899X/786/1/012077.

4. Б. М. Шифрин, И. В. Елисеев, В. А. Соколова, В. А. Каляшов. Разработка модели единого информационного пространства предприятия // Техника и технология транспорта. – 2019. – № S(13). – С. 73.
5. Шифрин, Б. М. Основы интегрированных систем проектирования и управления: учебное пособие для бакалавров, обуч. по направл. 27.03.04 / Б. М. Шифрин, В. А. Соколова, Н. В. Меламед ; отв. ред. Б. М. Шифрин ; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет. - СПб. : ЛТУ, 2019. - 56 с.

Сведения об авторах

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 —
e-mail idxy@bk.ru

ФИО Шифрин Борис Маркович
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 Игорь Владимирович
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

Аннотация

В статье рассмотрены проблемы и особенности проектирования АСУ ТП. Сформулированы общие и специфические требования к SCADA-системам, необходимые для успешной автоматизации.

Ключевые слова: АСУ ТП, SCADA-системы, проектирование, APCs, SCADA systems, engineering.

УДК 681.5

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 50.47.02

Сравнительный анализ различных методов расчета оптимальных параметров ПИД-регуляторов

Мокин А.Д., Елисеев И.В., Соколова В.С.

Введение

В настоящее время самыми распространёнными регуляторами являются классические пропорциональные (П), пропорционально-интегрирующий (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференцирующие регуляторы.

ПИД-контроллеры относятся к наиболее популярному типу регуляторов, которые широко применяются в целях управления различными промышленными процессами. Приблизительно 90% операций с замкнутым контуром в промышленной автоматизации используют ПИД-регуляторы. Причиной такой популярности является простота построения, функционирования и промышленного использования, а также способность решать большое кол-во задач и низкая стоимость.

Цель работы – провести сравнительный анализ различных методов расчета оптимальных параметров ПИД-регулятора.

Методы исследования: тангенциальный метод нахождения ПИД-коэффициентов и нахождение ПИД-коэффициентов в программе Matlab.

Результаты исследования

ПИД-регулятор – это готовое устройство для осуществления автоматического поддержания в заданном интервале одного или нескольких параметрах. ПИД расшифровывается как пропорционально-интегрально-дифференцирующий регулятор, который формирует управляющий сигнал, являющийся суммой трёх слагаемых: пропорционального, интегрального и дифференциального.

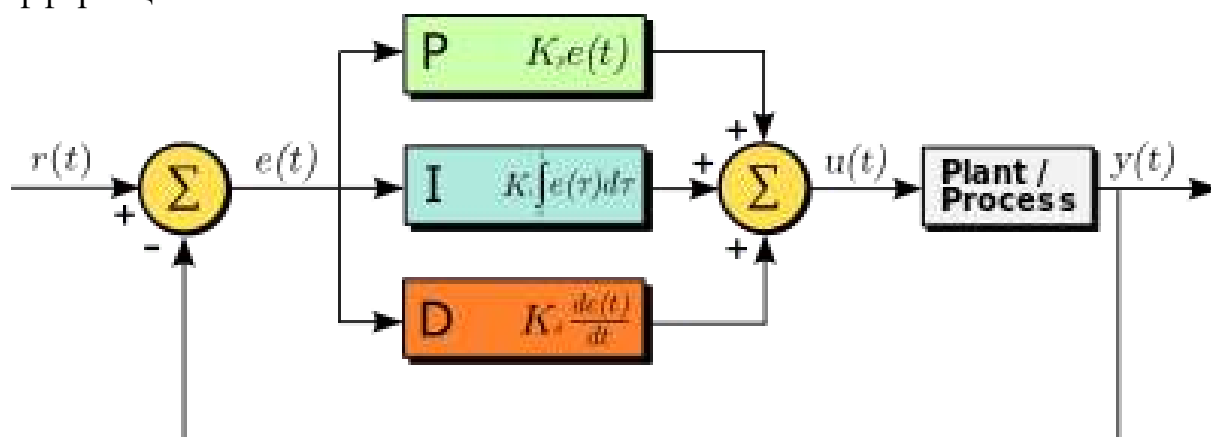


Рисунок 1. Схема, изображающая принцип работы ПИД-регулятора

Настройка регулятора подразумевает расчет конкретных значений величин K_P , T_I , T_D , тем или иным методом, где:

K_P – коэффициент передачи регулятора;

T_I – постоянная интегрирования;

T_D – постоянная дифференцирования.

В данной работе мы рассмотрим два метода расчета значений для микропроцессорного, одноканального ПИД-регулятора TRM10 – X.Y.XX и сравним их между собой:

- Тангенциальный метод нахождения ПИД-коэффициентов;
- Нахождение ПИД-коэффициентов в программе Matlab.

Рассмотрим каждый из расчетов подробнее. В качестве объекта исследования был использован лабораторный сушильный шкаф, в качестве датчика температуры использован термометр сопротивления ТСМ. Начнем с тангенциального метода нахождения ПИД-Коэффициентов.

Для выполнения расчетов были получены данные с реального технологического объекта управления, которым является лабораторной сушильный шкаф, который нагревали до максимальной температуры. В процессе нагрева значения температуры фиксировались каждую минуту. На основе зафиксированных данных была построена экспериментальная кривая разгона (рис. 2), на основе которой были найдены данные для расчета необходимых нам значений (табл. 1).

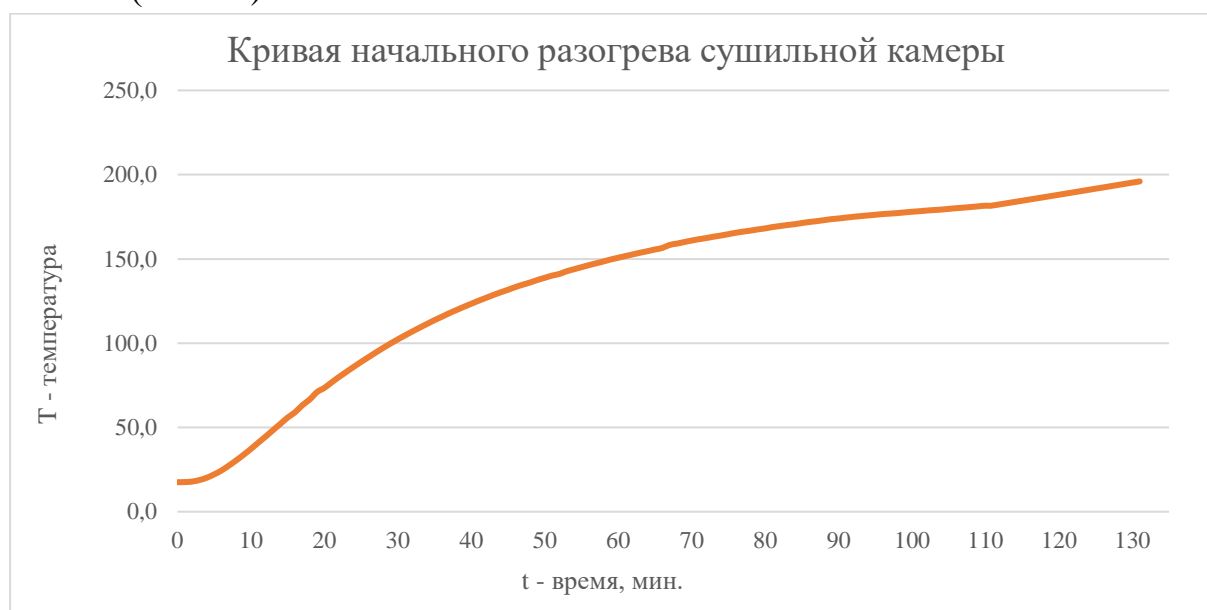


Рисунок 2. Кривая начального разогрева лабораторного сушильного шкафа

Таблица 1. Начальные данные

Обозначение	Значение	Величина
Δt	2160	с
ΔT	106.	°C
ΔN	100%	
T	300	с

где: ΔT – изменение температуры в °С; Δt – соответствующее изменение времени в секундах; ΔN – изменение мощности в %.

После того, как все начальные данные были определены рассчитали величину относительного наклона касательной по формуле:

$$K = \frac{\Delta T / \Delta t}{\Delta N} \quad (1)$$

Следовательно, K равно $4,94 \cdot 10^{-4}$. Далее были установлены значения коэффициентов K_P , K_I , K_D в соответствии с таблицей, представленной в таблице 2.

Таблица 2. Таблица расчетов коэффициентов

Тип регулирования	Пропорциональный коэффициент K_p	Интегральный коэффициент K_i	Дифференциальный коэффициент K_d
Только P	$100 * \tau_M * K$	Выключено	Выключено
P+I	$111 * \tau_M * K$	$3.3 * \tau_M$	Выключено
P+I+D	$83 * \tau_M * K$	$2 * \tau_M$	$0.25 * \tau_M$

Таблица 3. Рассчитанные значения коэффициентов

Тип регулирования	Пропорциональный коэффициент K_p	Интегральный коэффициент K_i	Дифференциальный коэффициент K_d
Только P	1483,33	Выключено	Выключено
P+I	1646,50	990	Выключено
P+I+D	1231,17	600,00	75,00

На основании полученных данных ПИД-регулятор был настроен, после чего начинает выполняться нагрев лабораторного сушильного шкафа. В ходе наблюдений значения нагревания сушильного шкафа фиксируются каждые 2 минуты.

На приборе устанавливаются следующие значения:

XR (K_p) = 1; ТИ (K_i) = 600; ТД (K_d) = 75; Уставка = 120 °С.

На графике (рис. 5) видно, что значение температуры не устанавливается согласно указанной уставке. Исходя из полученной кривой, был сделан вывод, что необходимо внести изменения в полученные параметры. Для этого обращаемся к табл. 2. Исходя из таблицы 2 видно, что в нашем случае подходит 8 шаг, поэтому необходимо произвести проверку соотношения амплитуд A_3/A_1 . На основании данной проверки был сделан вывод, что регулятор не настроен, в связи с этим получаем новые значения для ПИД-регулятора:

XR (K_p) = 1; ТИ (K_i) = 600; ТИ (K_i) = 600; Уставка = 120 °С.

На основании полученной кривой можно сделать вывод, что регулятор настроен, так как регулируемая величина пересекла уставку и кривая постепенно затухает.

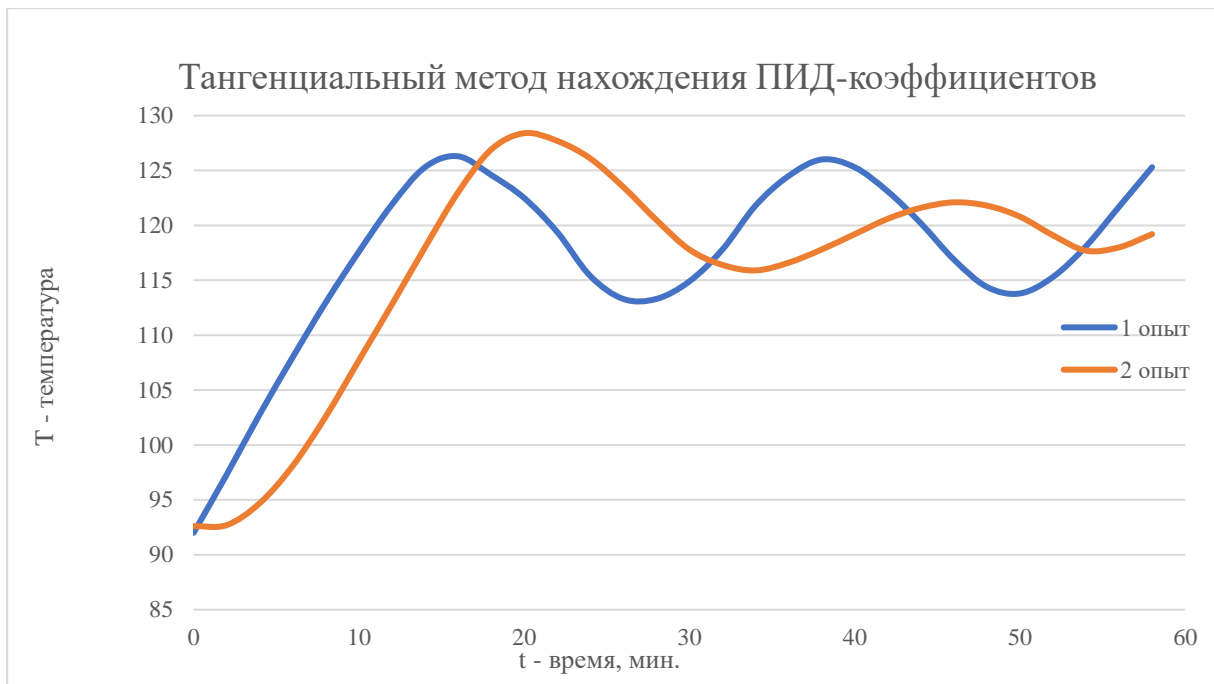


Рисунок 3. Кривые нагрева лабораторного сушильного шкафа

Теперь рассмотрим нахождение ПИД-коэффициентов в программе Matlab. В качестве исходных данных в рассматриваемом случае используется табулированная экспериментальная кривая разгона (переходная характеристика) из первого метода. Также, на основании первого метода нахождения коэффициентов уже известно, что мощность регулирующего органа составляет $\Delta N = 100\%$. Расчёты коэффициентов выполняются в Matlab.

В программе Matlab мы получили кривую разгона описывающую статический объект управления (рис. 4) (объект с самовыравниванием, который самостоятельно приходит в новое равновесное состояние), к которой была проведена касательная к точке перегиба. На основании построенной модели построенного графика были определены параметры модели: постоянную времени T , полное запаздывание τ , коэффициент передачи K .

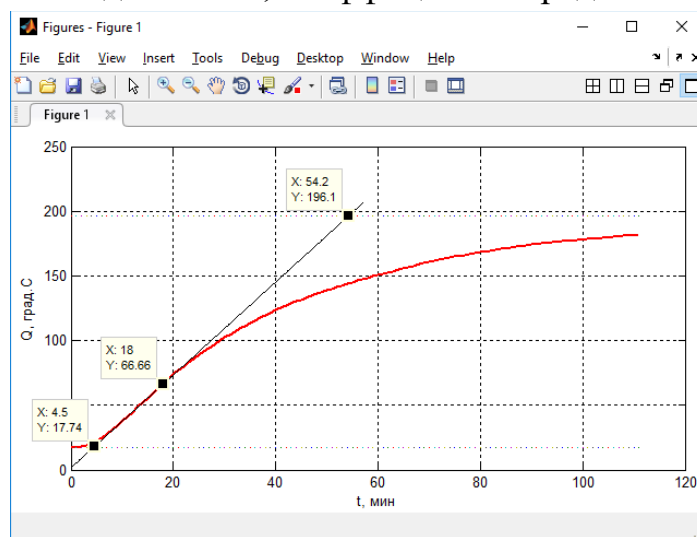
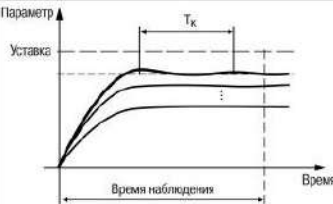
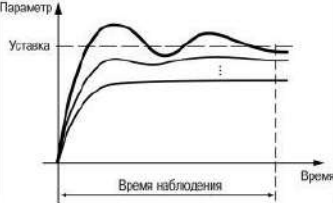



Рисунок 4. Построение для определения параметров объекта

Таблица 4. Описание шагов примера

Шаг	Параметры	Оценка процесса	Решение
1	$X_P = 9999$ $T_I = 0$ $T_D = 0$	Долго подходит к уставке, не пересекает	Уменьшить X_P (в два раза)
2	$X_P = 5000$ $T_I = 0$ $T_D = 0$	Быстрее подходит к уставке, не пересекает	Уменьшить X_P (в два раза)
3	Сделать несколько итераций, до тех пор, пока появятся признаки колебаний. Измерить период (T_K). Для следующей итерации можно принять $t_i = T_K / 2$ для ускорения процесса настройки		
4	$X_P = 500$ $T_I = T_K / 2$ $T_D = 0$	Очень быстро подходит к уставке, не пересекает, колебательность усилилась	X_P зафиксировать, изменить T_I
5	$X_P = 500$ $T_I = 2000$ $T_D = 0$	Подходит к уставке, не пересекает	Уменьшить t_i (в два раза)
6	$X_P = 500$ $T_I = 1000$ $T_D = 0$	Подходит к уставке, не пересекает	Уменьшить t_i и X_P (в два раза)
7	Сделать несколько итераций, до тех пор, пока регулируемая величина не пересечет уставку и начнет колебания около этого значения		
8	$X_P = 125$ $T_I = 250$ $T_D = 0$	Регулируемая величина пересекла уставку. Проверить соотношение амплитуд $A_3/A_1 \approx 0,1$ Если колебания удовлетворяют условию – регулятор настроен. Если нет - Фиксировать T_I и X_P , задать $T_D = T_i / 5$	
9	$X_P = 125$ $T_I = 250$ $T_D = 50$	Проверить соотношение амплитуд $A_3/A_1 \approx 0,1$ Не удовлетворяет условию - Уменьшить i на 10 %	
10	$X_P = 125$ $T_I = 250$ $T_D = 40$	Регулятор настроен	

На основании построенной кривой были определены параметры объекта:

Таблица 5. Начальные данные

Обозначение	Значение	Величина
Δt	2982	с
ΔT	178,5	°C
ΔN	100	%
T	270	с

На основании полученных данных был рассчитан коэффициент величины относительного наклона касательной $K = 6 \cdot 10^{-4}$.

Далее были установлены значения коэффициентов K_P , K_I , K_D в соответствии с таблицей, представленной в таблице 2.

Таблица 6. Коэффициенты регулятора

Тип регулирования	Пропорциональный коэффициент K_p	Интегральный коэффициент K_i	Дифференциальный коэффициент K_d
Только P	16,16	Выключено	Выключено
P+I	17,94	891	Выключено
P+I+D	13,41	540,00	67,50

Расчитанные значения параметров модели объекта и коэффициентов ПИД-регулятора были вбиты в скрипт-файл.

На рисунке 8 представлена модель объекта с регулятором, сформированная в программе Matlab-simulink.

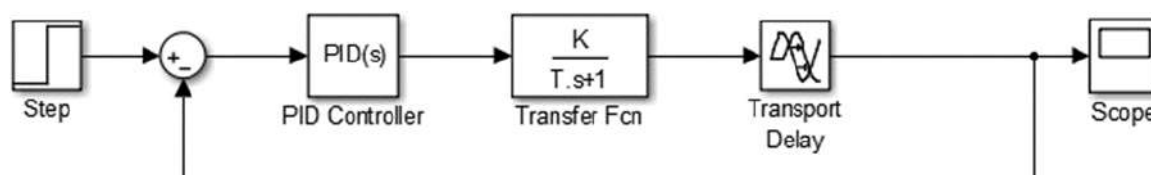


Рисунок 5. Модель объекта с регулятором

Здесь отсутствует задатчик начального значения температуры на выходе объекта, но присутствует ПИД-регулятор. Для него заданы параметры, соответствующие расчетным значениям. Это видно на рисунке 6.

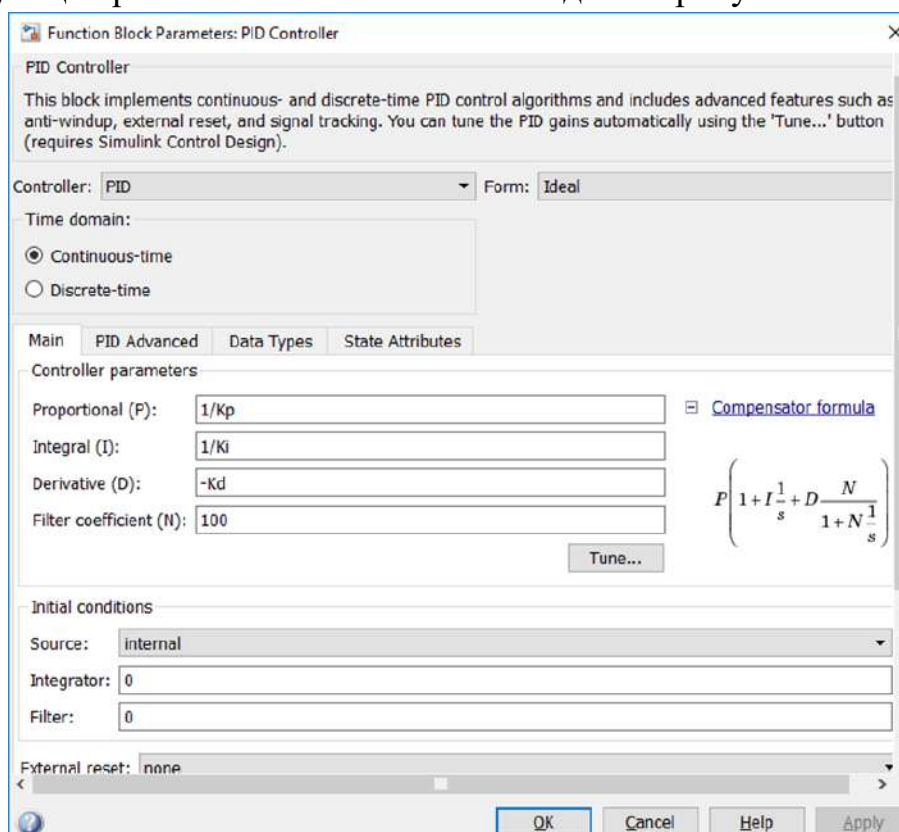


Рисунок 6. Параметры ПИД-регулятора

Реакция воздействия на входное значение представлена на рисунке 7.

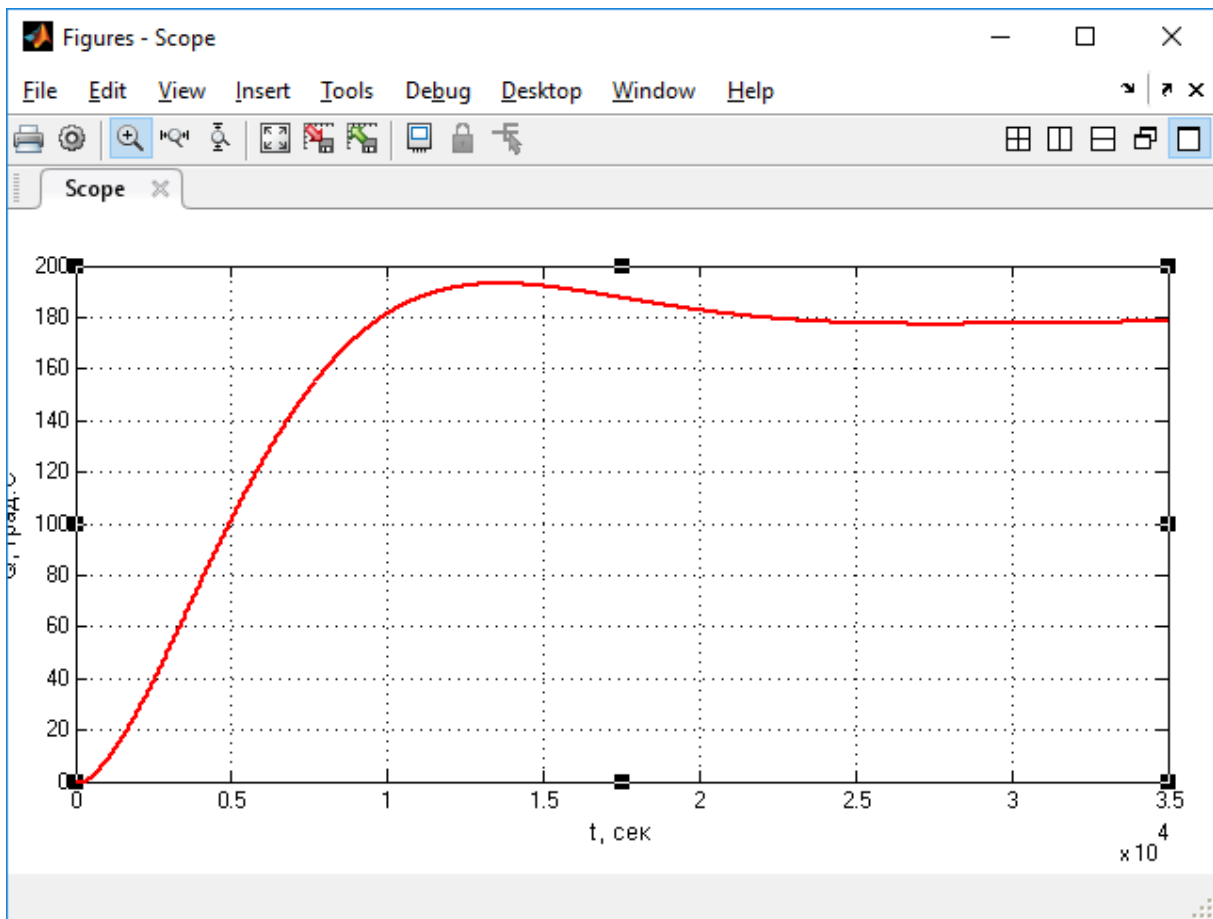


Рисунок 7. Выходной сигнал в замкнутой системе

Из рисунка 7 видно, что температура на выходе изменяется на $178,5^{\circ}\text{C}$ за время примерно равное $18000/60=300$ мин (с учетом допустимой погрешности $\pm 5\%$), далее происходит стабилизация на одном уровне. Также видно, что за все время регулирования температура не изменяется более чем на 196°C (предельное значение).

На основании полученных данных ПИД-регулятор был настроен, после чего выполняется нагрев лабораторного сушильного шкафа. В ходе наблюдений значения нагревания сушильного шкафа фиксируются каждые 2 минуты.

На приборе устанавливаются следующие значения:

$\text{XR (Kp)} = 1/13,45 = 0,1$; $\text{ТИ (Ki)} = 540$; $\text{ТД (Kd)} = 68$; $\text{Уставка} = 60^{\circ}\text{C}$.

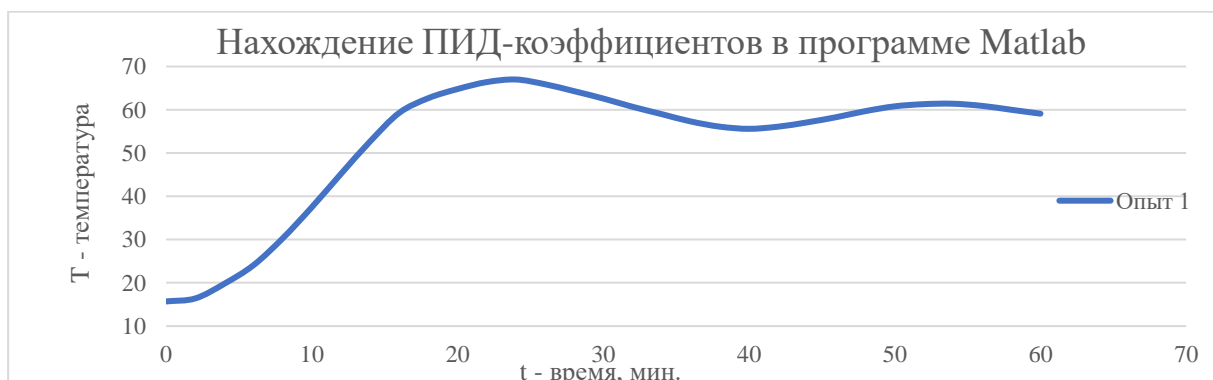


Рисунок 8. Кривая нагрева лабораторного сушильного шкафа

На основании графика находим время переходного процесса. Это время от начала процесса до вхождения кривой в интервал $\pm 5\%$ от заданного значения, которое в представленном примере равняется 48,5 мин или 2910 с. Исходя из рисунка 8 можно сделать вывод, что регулятор настроен, так как регулируемая величина пересекла уставку и кривая постепенно затухает.

Заключение.

На основании проведенной работы можно сделать заключение, что расчет с помощью программы Matlab является точнее и эффективнее, чем расчет тангенциальным методом. Данный вывод подтверждают приведённые выше расчеты и графики, полученные в процессе выполненной работы. Чтобы наглядно подтвердить выполненную работу сравним соотношение амплитуд двух выше приведенных примеров.

В первом примере, где нахождение ПИД-коэффициентов выполняется тангенциальным методом, было проведено два опыта. В первом опыте колебание амплитуд составило ≈ 0.96 , что доказывает, что настроить ПИД-регулятор с первого раза не вышло, поэтому прибегая к помощи таблицы 4, вносятся поправки в исходные данные и колебание амплитуд составляет 0.25. Данная величина подтверждает факт того, что регулятор является настроенным и кривая постепенно затухает. Однако настройка регулятора выполнялась только со второго раза и на весь процесс первого эксперимента было затрачено больше времени, чем на второй.

Рассмотрим теперь колебание амплитуд в эксперименте, где ПИД-коэффициенты находились с помощью программы Matlab. Колебание амплитуд в данном опыте составил 0.2, что доказывает тот факт, что ПИД-регулятор настроен и кривая затухает. Однако нужно отметить, что время переходного значения в первом эксперименте меньше, чем во втором: 41 мин < 48,5 мин.

Данную ситуацию можно обусловить тем, что в первом случае сушильная камера нагревается быстрее за счет начальной температуры (сушильная камера изначально был нагрета), также на данную разницу влияет разница температур начальной и уставки. Так в первом случае начальная температура составляла ≈ 92 °С в обоих опытах, а температура уставки составляла 120 °С. Таким образом разница температур составляет 28 °С. Во втором случае начальная температура составляла 15.7 °С, а температура уставки равнялась 60 °С. Соответственно разница температур составляет 44.3 °С. Соответственно время нарастания переходного момента во втором случае превышает первый почти в 1.5 раза.

Однако, на основании проведенных опытов в представленной работе, было сделано заключение, что в дальнейшем необходимо воспользоваться альтернативным методом поиска оптимальных настроек регулятора и сравнить полученные результаты, после чего выбрать лучший из них и произвести уже

корректировку параметров вручную, а затем перейти к модели нечёткого регулирования.

Библиографический список

1. Штейнберг Ш.Е., Серезин Л.П., Залуцкий И.Е. Проблемы создания и эксплуатации эффективных систем регулирования // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2004. – № 7. – С. 1–7.
2. Сидорова А.А., Малышенко А.М. Анализ эффективности алгоритмов автоматической настройки адаптивных промышленных ПИД-регуляторов. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 318. №5. С. 110-115.
3. Методы робастного, нейронечеткого и адаптивного управления / под ред. Н.Д. Егупова. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. – 744 с.
4. Шубладзе А.М., Гуляев С.В., Ольшванг Р.В., Шубладзе А.А. Автоматически настраивающийся адаптивный промышленный регулятор (АНАП) // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2005. – № 3. – С. 32–35.
5. Мелков, Д. А. Сравнение методов настройки ПИД-регулятора при колебаниях параметров возмущающего воздействия / Д. А. Мелков. – Текст: непосредственный // Молодой ученый. – 2013. – № 4 (51). С. 72-76.

Сведения об авторах

ФИО	Мокин А.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	Lexmok@mail.ru
ФИО	Елисеев Игорь Владимирович
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	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	—
e-mail	wladenok@icloud.com

Аннотация

В представленной работе подробно рассматриваются и сравниваются два метода для расчета коэффициентов регулирования на ПИД-регулятора ТРМ10 –

Х.У.ХХ: тангенциальный метод нахождения ПИД-коэффициентов и нахождение ПИД-коэффициентов в программе Matlab.

Ключевые слова: ПИД-регулятор, ТРМ10, Matlab-simulink, коэффициент.

УДК 681*5

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 50.43.15

Усилитель высокой частоты для радионавигационной системы

Егоров М.Ю., Коваленко И.И.

Введение

Ориентация в пространстве стала актуальной задачей с тех пор как человек стал перемещаться по земной поверхности, в водном, в воздушном, а затем и в космическом пространстве [1, 2]. Сразу же возникла задача возврата в исходную точку. Развитие техники обеспечило развитие навигации, появление геонавигации, радионавигации и других видов навигации.

Современный этап развития гражданской авиации характеризуется широким внедрением автоматизированных систем управления воздушным движением, использованием последних достижений вычислительной техники, более современными радиоэлектронными средствами управления воздушным движением, навигации, посадки и связи, совершенствованием методов и средств технической эксплуатации авиационной техники [3].

Авиационная техника и технические средства самолетовождения непрерывно развиваются. Современные самолеты оснащаются автоматизированными навигационными комплексами, значительно повышающими точность, надежность и безопасность самолетовождения.

Широкое применение получают системы для автоматического самолетовождения по маршруту и для автоматического захода на посадку. В условиях высокой интенсивности и плотности воздушного движения особую остроту приобретает проблема обеспечения безопасности полетов и максимальной эффективности использования авиационной техники.

Потребители радиолокационной и радионавигационной информации предъявляют к аппаратуре различные зачастую противоречивые требования, удовлетворить которым одновременно одна система не может. Поэтому они дифференцируются по определенным группам в зависимости от функций различных служб, использующих информацию радионавигационных систем [1, 2].

Так существуют трассовые, аэродромные, посадочные, обзора летного поля, метеорологические и другие виды радиолокационные системы.

В некоторых случаях разрабатываются радиолокационные комплексы, совмещающие функции двух или большего числа видов радиолокационных станций. Развитие радиолокационной и радионавигационной техники привело к тому, что произошло разделение радиоэлектронных средств радионавигации по месту расположения (бортовые и наземные радиоэлектронных средств) по частотному диапазону (от сотен килогерц до десятка гигагерц) в зависимости от конкретного предназначения радиоэлектронных средств (азимутальные радиомаяки, глассадные маяки, приводные радиолокационные системы, обзорные радиолокационные системы и др.).

Цель работы – разработка усилителя высокой частоты передающего устройства ближней навигации А-321.

Методы исследования

Любая из вышеперечисленных радионавигационных систем, будь то приемник или передатчик, включают в себя усилители высокой частоты [1]. В приемнике это может быть малошумящий усилитель, устанавливаемый на входе приемника или усилитель промежуточной частоты. В передатчике это линейка усилителей, позволяющая получить выходную мощность передающего устройства. Таким образом, усилитель высокой частоты может быть маломощным (единицы микроватт, единицы милливатт), мощным (единицы ватт, сотни ватт). Несмотря на столь большое разнообразие возможных структур построения усилителей высокой частоты, им свойственны и общие черты.

Методы расчета усилителей высокой частоты всех видов сходны. Проектирование усилителя высокой частоты выполняют с применением Y – параметров или S – параметров, которые получает разработчик либо на основе эквивалентной схемы транзистора, либо на основе экспериментальных данных, полученных методом измерения [4, 5].

Результаты исследования.

Комплекс радиотехнического оборудования, который обеспечивает постоянное решение навигационных задач, связь экипажа с аэродромами взлета и посадки, диспетчерами службы управления воздушным движением и другими самолетами, позволяет решать поставленные задачи – от перевозки пассажиров до боевого применения на военных самолетах [1, 2]. Диапазон частот, в котором работают различные комплексы радиотехнического оборудования, простирается от десятков килогерц до десятков гигагерц. Каждый комплекс призван решать строго определенные задачи, свойственные конкретному комплексу.

Отдельные комплексы могут быть сосредоточены на летательном аппарате, другие комплексы могут быть частично размещены на летательном аппарате, а другая часть может располагаться на земле [1, 2]. Одни комплексы находятся в эксплуатации достаточно давно и могут находиться на службе еще десятилетия,

другие современные комплексы, разработанные совсем недавно, только внедряются в эксплуатацию.

Настоящая работа посвящена модернизации радиотехнического комплекса, стоящего на службе авиации, который может выполнять свои функции еще долгие годы. Современное состояние элементной базы авиационных радиотехнических комплексов позволяет существенно улучшить их технические и эксплуатационные характеристики, проведя модернизацию, которая, естественно, дешевле, нежели полная замена оборудования [6].

Радиотехнические системы ближней навигации и посадки (РСБН) являются составной частью пилотажно-навигационных комплексов, и состоят из наземного и бортового оборудования, которое обеспечивает решение следующих навигационных и посадочных задач [1]:

- автоматическое и непрерывное измерение и индикация азимута и дальности летательного аппарата относительно наземного радиомаяка системы РСБН;
- автоматическое и непрерывное определение отклонения от равносигнальной зоны (линии курса и глиссады) в режиме «ПОСАДКА»;
- автоматическое и непрерывное автономное счисление величин азимута и дальности относительно любого запрограммированного радиомаяка системы РСБН;
- автоматическое и непрерывное определение заданного курса и дальности до любой запрограммированной точки – промежуточного пункта маршрута;
- автоматическое и непрерывное определение отклонения от заданной высоты при полете самолета на крейсерской высоте в режиме «ВОЗВРАТ» (на аэродром посадки);
- автоматическое и непрерывное определение отклонения от заданной линии пути ($\Delta\psi_{зад}$) при совершении предпосадочного маневра;
- автоматическая и непрерывная выдача управляющих сигналов отклонения от заданного курса и высоты ($\Delta\psi_{зад}$ и H) при включении режима «ПОВТОРНЫЙ ЗАХОД»;
- выдача информации об азимуте и наклонной дальности наземному радиомаяку типа РСБН для индикации координат самолета на наземном индикаторном устройстве – индикаторе кругового обзора.

Для решения этих задач бортовая аппаратура РСБН в составе пилотажно-навигационного комплекса сопрягается с системой курсовертикали, системой воздушных сигналов (СВС), системой доплеровского счисления скорости и угла сноса (ДИСС) и системой автоматического управления самолетом (САУ). Состав и связи между составными частями пилотажно-навигационного комплекса показаны на рисунке [1, 2].

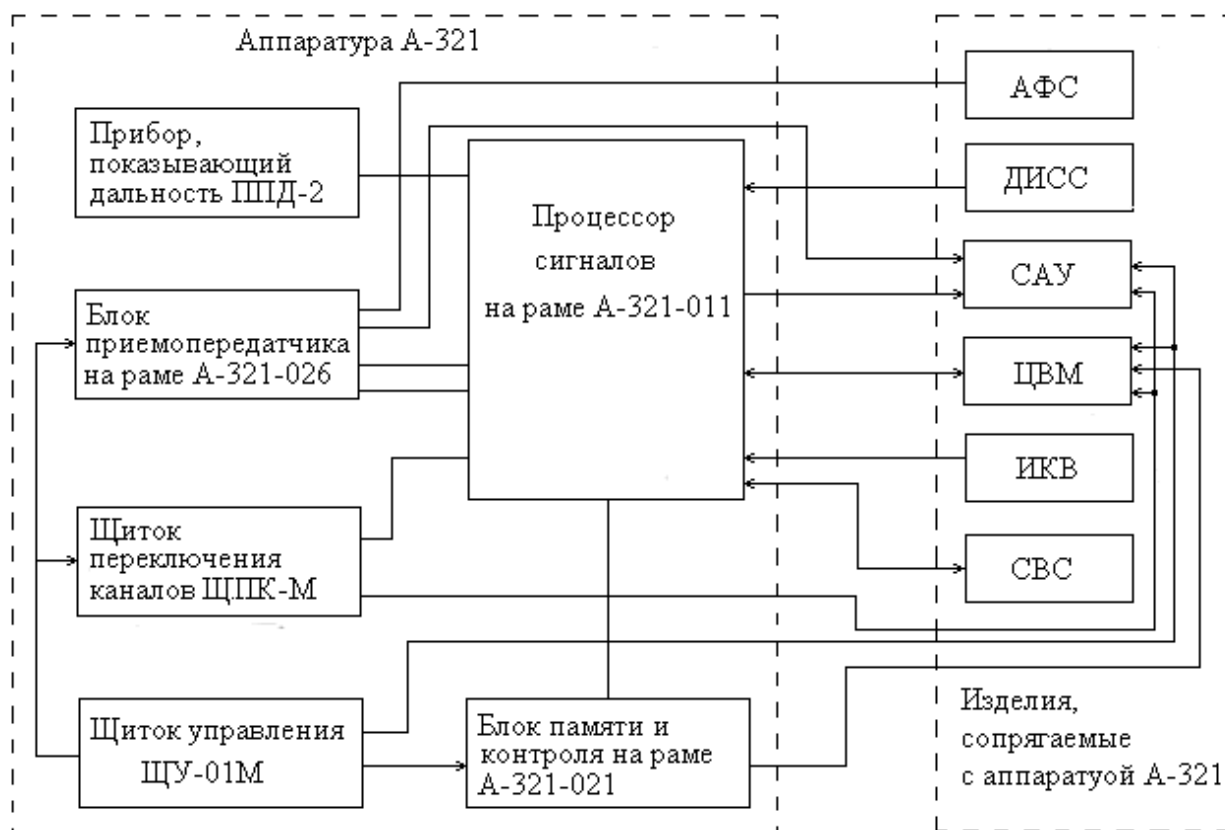


Рисунок. Пилотажно-навигационный комплекс

Аппаратура А-321 является частью навигационно-пилотажного комплекса и решает при автоматическом, полуавтоматическом и ручном режимах следующие задачи:

- определение координат местоположения летательного аппарата (ЛА) относительно наземного радиомаяка;
- счисление координат местоположения ЛА по данным автономной скорости и курса;
- коррекция автономно счисленных координат по данным радиомаяка;
- формирование и выдача сигналов траекторного управления ЛА в горизонтальной плоскости Ψ_3 в режиме маршрутного полета;
- формирование и выдача сигналов траекторного управления в горизонтальной плоскости Ψ_3 и в вертикальной плоскости ΔH в режиме возврата на один из четырех запрограммированных аэродромов посадки с пробиванием облачности, предпосадочным маневром, выходом на заданный курс посадки, автоматическим включением режима посадки и выполнением повторного захода правым или левым кругом;
- обеспечение возврата на незапрограммированный аэродром в режиме «СБРОС»;
- формирование и выдача сигналов управления самолетом по курсу и глиссаде снижения в режиме «ПОСАДКА».

Выводы.

1. Рассмотрены возможные варианты построения усилителя высокой частоты с учетом элементной базы доступной для построения проектируемого устройства.
2. Осуществлен выбор транзисторов для построения усилителя высокой частоты.
3. Определена оптимальная структурная схема проектируемого усилителя.

Библиографический список

1. *Лушников А.С.* Наземные радиоэлектронные средства обеспечения полётов воздушных судов. Ульяновск: УВАУ ГА, 2001.
2. *Бакулев П. А., Сосновский А. А.* Радионавигационные системы. М.: Изд. «Радиотехника». 2005.
3. *Р. Кроуфорд.* Схемные применения МОП транзисторов. М.: МИР. 1970.
4. *Scolnik M.I.* Introduction to Radar Systems. New York, McGraw-Hill, 2001.
5. *W.A. Davis, K. Agarwal.* Radio Frequency Circuit Desin. A WILEY-INTERSCIENCE PUBLICATION. 2001.
6. *Волков Ю.К., Илюшечкин М.Н., Шестов М.Е.* Мифы и реалии импортозамещения в радиоэлектронной промышленности. Компоненты и технологии. 2015. № 2.

Сведения об авторах

ФИО Егоров Михаил Юрьевич
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7771-4892
e-mail mikhail.yu.egorov@gmail.com

ФИО Коваленко И.И.
Организация Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес организации 190000, ул. Большая Морская, д. 67, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код
e-mail

Аннотация

В статье выполнен расчет усилителя высокой частоты для модернизации аппаратуры ближней навигации. Определена эффективная и современная элементная база. Проведен анализ работы устройства, расчёт и моделирование полосы пропускания, выходной мощности и коэффициента усиления усилительной ячейки. Выполнен расчет экономической эффективности предложенной модернизации. Для расчёта и моделирования устройства использованы программы AWRDE -9 и интегрированная среда MathCAD 15.

Ключевые слова: усилитель высокой частоты, усилительная ячейка выходного каскада, коэффициент преобразования; high frequency amplifier, output stage amplifier cell, conversion factor.

УДК 621.375.4

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 29.35.00

Научное издание

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ИТОГАМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ 2021 года

Материалы научно-технической конференции