

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 2019 года**

27 января – 6 февраля 2020 г.



Санкт-Петербург

2020

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

Редакционная коллегия:

В.А. Соколова, кандидат технических наук, ответственный редактор

И.В. Бачериков, кандидат технических наук, редактор

А.М. Иванов, специалист по учебно-методической работе, 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 2019 [Электронный ресурс] / отв. ред. В.А. Соколова – СПб: СПбГЛТУ, 2020. – 520 с. Режим доступа: свободный. URL: <http://spbftu.ru>

Proceedings of annual conference of the Institute of Technological machines and forest transportation 2019 / ed. V. Sokolova. St.Petersburg: SPbFTU, 2020. – 520 pp.

В сборнике представлены материалы докладов научно-технической конференции по итогам научно-исследовательских работ 2019 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.

Опубликовано в редакции авторов с незначительными техническими правками. Сборник не 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The proceedings are not peer-reviewed.

© СПбГЛТУ, 2020

Содержание

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ	8
<i>Теплов А.В., Кретинин В.И., Сафонова Н.Ю., Усачева В.Л., Лантев Д.А.</i> Гармонизация профессиональных и образовательных стандартов лесной отрасли.....	8
<i>Шифрин Б.М., Елисеев И.В., Грачев А.М.</i> Разработка системы показателей качества электронных курсов	11
<i>Меламед Н.В., Соколова В.А., Уткин Л.В., Кривоногова А.С., Иванов А.М.</i> Экспертный подход при проектировании логистических сетей	18
<i>Сидоренков Н.В., Мартынов Б.Г.</i> Анализ стратегий организации систем ТО и Р	27
<i>Раевская Н.О., Громская Л.Я., Бойчук П.А.</i> Анализ экспорта лесопродукции в РФ.....	31
<i>Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниеязов А.</i> Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы	36
<i>Новикова М.А., Шифрин Б.М., Елисеев И.В., Нагорнов О.В.</i> Выявление значимых факторов в модели прироста древостоя	44
2. ЛЕСОСЕЧНЫЕ РАБОТЫ	50
<i>Рожков Н.А., Захаров В.А., Козьмин С.Ф., Михайлов О.А., Тарадин Г.С.</i> Исследование эффективности использования малогабаритного форвардера	50
<i>Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С.</i> Малогабаритные колесные тракторы для рубок ухода	54
<i>Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С.</i> Исследование проходимости лесохозяйственного трактора Т-25АЛ	60
<i>Киселев К.В., Козьмин С.Ф., Михайлов О.А., Тарадин Г.С.</i> Исследование вертикальной динамики малогабаритного колесного трактора.....	68
<i>Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н., Большаков Р.И., Милехин А.И.</i> Системная связность лесосечных работ	72
<i>Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Россихин К.В.</i> К вопросу об обосновании оптимальных технологических процессов лесозаготовок в условиях СЗФО РФ.....	77
<i>Свойкин Ф.В., Бачериков И.В., Свойкин В.Ф.</i> Оптимизация выбора технологии трелевки круглых лесоматериалов на лесосеках со слабой несущей способностью грунта. Концепция.....	83
<i>Хитров Е.Г., Ильюшенко Д.А., Ермакова Е.К.</i> Линейные функции коэффициентов сопротивления движению и сцепления движителей лесных машин с грунтом	88
<i>Хитров Е.Г., Ильюшенко Д.А., Ермакова Е.К.</i> Оценка сопротивления грунта повороту движителя лесной машины	94
<i>Хитров Е.Г., Ильюшенко Д.А., Ермакова Е.К.</i> Расчет допустимого веса пачки трелюемых лесоматериалов с учетом переменных коэффициентов сопротивления движению и сцепления	100
<i>Хитров Е.Г., Ильюшенко Д.А., Ермакова Е.К.</i> Расчет касательного напряжения с учетом снижения удельного сцепления лесного грунта при буксовании движителя	105
<i>Ильюшенко Д.А., Орлов В.В., Локитанов Б.М.</i> Сырье для производства топливной щепы	110
<i>Белова Ж.О., Угрюмов С.А.</i> Способы переработки древесных отходов при лесозаготовке и первичной обработке лесоматериалов	115

3. ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА	119
<i>Иванова И.В., Дейс А.Д.</i> Рациональное ресурсо- и теплоиспользование в лесной промышленности.....	119
<i>Прохоров В.А., Куликов А.А., Иванова И.В.</i> Разработка водо-водяного пластинчатого теплообменника.....	127
<i>Прохоров В.А., Куликов А.А., Иванова И.В.</i> Разработка фильтра механического для очистки воды	138
<i>Алексева Е.А., Кебко В.Д., Соколова В.А., Кривоногова А.С.</i> Механические характеристики униполярных электродвигателей в электроприводах деревообрабатывающих устройств.....	148
<i>Иванова И.В., Ходорыч Н.Д., Иванов М.М.</i> Анализ результатов исследования вопросов техники использования генераторных газов в энергетике.....	157
<i>Иванова И.В., Тюляков В.Е., Иванов М.М.</i> Обоснование перевода двигателей внутреннего сгорания на генераторный газ.....	164
<i>Иванова И.В., Куликов А.А., Петров В.А.</i> Обоснование целесообразности получения и использования генераторного газа из древесных и других горючих газов.....	171
<i>Жвакина С.В., Иванова И.В.</i> Использование твердых бытовых отходов для получения тепловой энергии.....	178
<i>Жвакина С.В., Иванова И.В.</i> Технологии сжигания твердых бытовых отходов в теплогенерирующих установках.....	183
<i>Иванов М.М., Иванова И.В., Андрюхин М.В.</i> К вопросу о возможности использования продуктов процесса термолиза биомассы в бытовых печах.....	188
<i>Бандель А.Л., Иванова И.В.</i> Энергосбережение и энергоэффективность в Российской Федерации.....	193
<i>Бандель А.Л., Иванова И.В.</i> Анализ аварий на энергетических объектах на территории Российской Федерации	198
<i>Иванова И.В., Тюляков В.Е.</i> Перспективные исследования анаэробной переработки растительной биомассы в топливо	206
<i>Алексеева Е.А., Кебко В.Д., Соколова В.А., Марков В.А., Родкин С.С.</i> Оценка возможности по энергосбережению в двигателях.....	216
<i>Кебко В.Д., Алексеева Е.А., Соколова В.А., Марков В.А., Родкин С.С.</i> Пересчет нагрузок цеха с учетом преобразователя частоты главного привода станков.....	220
<i>Алексеева Е.А., Кебко В.Д., Соколова В.А., Марков В.А., Родкин С.С.</i> Расчет энергетических характеристик.....	223
4. МАШИНОСТРОЕНИЕ	227
<i>Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Пендриков Е.С., Барина П.А., Кривоногова А.С.</i> Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин.....	227
<i>Пегов В.Ю., Трофимов А.В.</i> PLM-системы в задачах информационного обеспечения жизненного цикла.....	233
<i>Захаров В.А., Михайлов О.А., Тарадин Г.С., Козьмин С.Ф., Затенко С.И., Тарабан М.В.</i> Исходные положения при планировании многофакторного эксперимента.....	238
<i>Кизилов А.Б., Котков П.М.</i> Управление техническими мышцами в машинах и оборудовании лесного комплекса.....	242

<i>Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Иванов А.М.</i> Анализ замкнутой исполнительской системы управления трехзвенным манипулятором методом точечных отображений	246
<i>Апицына О.С., Иванова И.В.</i> Сравнение метода получения диоксида углерода в цикле газовой регенеративной холодильной машины с адсорбционно-десорбционным способом	250
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Энергозатраты нагрузочного и скоростного режимов машинно-тракторного агрегата в условиях эксплуатации	257
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Анализ условий функционирования машин лесного комплекса	261
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Влияния скорости машинно-тракторного агрегата на некоторые стохастические характеристики его функционирования	264
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Износ пар трения двигателей машинно-тракторных агрегатов, как основной показатель их долговечности	267
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Повышение эффективности и технико-экономических показателей машинно-тракторного агрегата	270
<i>Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.</i> Пути уменьшения расхода масла на угар в двигателях машинно-тракторных агрегатов	272
<i>Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Мартынов Б.Г., Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Назарова М.</i> Об одной особенности вертикальной динамики лесного трактора с колесной формулой 4x4.....	275
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М.</i> Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе	281
<i>Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Парфенопуло Г.К., Нарметов Х.</i> Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора	287
<i>Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М.</i> Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения	292
<i>Кретинин В.И., Теплов А.В., Ефанов В.А., Третьякова Е.Ю., Фасахудинов В.В.</i> Оценка качества поверхности после вакуумно-дуговой очистки перед нанесением газотермических покрытий	300
<i>Дейс А.Д., Иванова И.В.</i> Анализ технологии цинкирования как современного способа антикоррозийной обработки металлических поверхностей	306
<i>Зверев И.А., Трофимов А.В.</i> Методика оценки статической прочности шарнирных соединений лесных машин с использованием программного обеспечения «ANSYS»	312
5. ДЕРЕВООБРАБОТКА И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ	322
<i>Хрусталева И.В.</i> Анализ деформированного состояния древесины	322
<i>Хрусталева И.В.</i> Определение рациональных параметров процесса прокатки	324
<i>Хрусталева И.В.</i> Определение усилий на элементы оборудования при прокатке древесины	327
<i>Вохмянин Н.А., Белоногова Н.А., Тарабан М.В.</i> Анализ существующих математических моделей процесса резания древесины	329
<i>Синицын Б.В., Угрюмов С.А.</i> Химическая переработка древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса	336

<i>Бирман А.Р., Угрюмов С.А., Белоногова Н.А., Локитанов Б.М., Орлов В.В.</i> Измерение плотности тел с положительной плавучестью	340
<i>Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Добрынин Ю.А., Беспалова В.В., Диязетдинов Р.Р.</i> К вопросу о прочностных расчетах сооружений.....	346
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Беспалова В.В., Аннаев Г.</i> Применение лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: исторический ракурс использования.....	354
<i>Бызов В.Е., Мелехов В.И., Сергеевичев А.В.</i> Прочностные характеристики пиломатериалов	363
<i>Соколова В.А.</i> К вопросу модификации лакокрасочных материалов и древесины	369
<i>Сергеевичев А.В., Онегин В.И.</i> Анализ влияния рельефа поверхности на конечные свойства лакокрасочного покрытия изделий из древесины.....	372
<i>Онегин В.И., Сергеевичев А.В.</i> Особенности взаимодействия лакокрасочных материалов с подложкой.....	375
<i>Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Угрюмов С.А.</i> К вопросу производства древесноугольных сорбентов.....	378
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.</i> Анализ зависимости производительности процесса шлифования древесины от износостойкости абразивного инструмента.....	381
<i>Сергеевичев А.В., Михайлова А.Е.</i> Анализ процесса стружкообразования при шлифовании абразивными кругами из сфериокорунда	385
<i>Михайлова А.Е., Сергеевичев А.В.</i> Анализ тенденции к разрушению абразивных зерен различной геометрической формы	390
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.</i> Исследование зависимости износостойкости шлифовальных лент от основных показателей процесса шлифования древесины	395
<i>Сергеевичев А.В.</i> К вопросу измерения некоторых параметров абразивных частиц	400
<i>Сергеевичев А.В.</i> К вопросу исследования геометрических параметров абразивных зерен	403
<i>Сергеевичев В.В., Сергеевичев А.В.</i> К вопросу исследования износостойкости шлифовальных шкурочек.....	407
<i>Сергеевичев А.В.</i> К вопросу конструирования абразивных инструментов	410
<i>Сергеевичев А.В.</i> К вопросу математического моделирования процесса шлифования древесины.....	414
<i>Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О.</i> К вопросу определения оптимального объема межзернового пространства абразивного инструмента	416
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.</i> К вопросу повышения износостойкости шлифовальных лент	422
<i>Сергеевичев А.В.</i> Математическая модель кинетики изменения профиля формообразующего элемента за период стойкости абразивного инструмента.....	426
<i>Сергеевичев А.В.</i> Математическая модель элемента рабочей поверхности инструмента, определяющего процесс формообразования	431
<i>Сергеевичев А.В.</i> Моделирование процесса шлифования древесины на основе модели ϵ -засорения.....	434
<i>Сергеевичев А.В.</i> Моделирование процесса шлифования древесины на основе распределения Дирихле и обобщенной модели Уолли	436
<i>Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.</i> Регрессионная модель процесса шлифования древесины.....	440

<i>Сергеевичев А.В.</i> Робастная модификация регрессионной модели процесса шлифования древесины.....	445
<i>Соколова В.А.</i> Модели отбора наиболее значимых факторов при исследовании свойств лакокрасочных покрытий	452
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Соколова В.А., Бирман А.Р., Кретинин В.И.</i> Анализ использования процессов пропитки в технологии производства древесного угля	458
<i>Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Гутлыев А.</i> Влияющие методы гидростатического давления пропиточной жидкости на повышение технических характеристик лесоматериалов	464
<i>Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В. А., Пушков Ю.Л., Парфенопуло Г.К.</i> К вопросу о математическом моделировании технологии пропитки капиллярно-пористых структур.....	471
<i>Кривоногова А.С., Соколова В. А., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Марков В.А.</i> Технология уплотнения древесины мягких лиственных пород в производстве древесного угля	477
6. ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ	484
<i>Угрюмов С.С., Угрюмов С.А.</i> Разработка программного обеспечения для проектирования жилых помещений.....	484
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Соколова В.А., Хашанов Т.</i> Исторический обзор формирования типологии регулирования застройки Санкт-Петербурга	488
<i>Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Соколова В.А., Худайбердиев М.</i> Исторический опыт формирования регулирования городского благоустройства российских (на примере застройки Санкт-Петербурга) и английских городов в контексте путей развития городского благоустройства.....	492
<i>Воронина К.А., Дурова А.С.</i> Изучение биологического ответа двух типов почв на внесение березового биоугля и сорбента изготовленного из отходов целлюлозно-бумажной промышленности.....	501
<i>Дурова А.С., Пашиквская А.Д., Нагиев Э.Э.</i> Применение метода льняных полотен с целью изучения биологических характеристик почв при использовании березового угля и целлюлозного сорбента	507
<i>Мушкарова О.М., Михеева М.Ф., Бачериков И.В.</i> Экономическая эффективность привлечения волонтеров к посадкам леса	513

1. ОБЩИЕ ВОПРОСЫ ЛЕСНОЙ И ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Гармонизация профессиональных и образовательных стандартов лесной отрасли

Теппоев А.В., Кретинин В.И., Сафонова Н.Ю., Усачева В.Л., Лаптев Д.А.

Введение.

В настоящее время подготовка специалистов требует разработки актуальных профессиональных стандартов и соответственно профессиональных программ, которые будут отражать национальную систему квалификаций. Реформирование системы профессионального образования является длительным процессом. С момента появления государственных образовательных стандартов высшего образования первого поколения (ГОС 1) в 1994 г., затем с введением ГОС 2 в 2000 г., третьего поколения (ФГОС) в 2011 г. и наконец в 2019 г постоянно поднимался вопрос о том, что разработке образовательных стандартов нужно предварять создание соответствующих профессиональных стандартов.

В 2015 г. были разработаны и приняты «Методические рекомендации по актуализации действующих федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования с учетом принимаемых профессиональных стандартов» (1).

Материалы и методы

Был проанализирован ряд статей, посвященных возможностям адаптации государственных образовательных стандартов и профессиональных стандартов

Результаты и обсуждение:

В настоящее время необходимость государственных образовательных стандартов обусловлена желанием сохранить единое качественное образовательное пространство, гарантирующее выдачу диплома о получении высшего образования государственного образца. Контроль государства за соблюдением образовательных стандартов обуславливает определённую структуру, нормы реализации и условия получения высшего образования, что гарантирует качественный образовательный контент.

Т.е. если в случае высшего образования государство жестко регулирует все процессы, то рынок труда не контролируется столь жестко. Таким образом, между работодателем и его потребностями и ожиданиями от выпускника ВУЗа, и образовательным стандартом существует определенный зазор. Привлечение представителей работодателя к составлению образовательного стандарта той или иной отрасли позволит сократить разрыв между потребностями рынка

труда и знаниями выпускников. Разработка современных образовательных стандартов носит рамочный характер и относится целиком к укрупнённым группам направлений и специальностей.

В современном мире рынок труда меняется очень быстро. За 4-5 лет, которые учебное заведение тратит на подготовку дипломированного специалиста, могут появиться десятки новых востребованных и высокооплачиваемых специальностей и даже отраслей. Происходит переход рынка труда в современный рынок компетенций и квалификаций. Ключевыми элементами национальной системы квалификаций являются профессиональные стандарты, заменяющие устаревшие квалификационные справочники и отраслевые квалификационные рамки. Федеральным законом № 236-ФЗ от 3 декабря 2012 г. [3] в трудовое законодательство введены понятия «квалификация» и «профессиональный стандарт».

В настоящее время разработано достаточное количество профессиональных стандартов, в связи с чем нужна ревизия образовательных стандартов на их соответствие. Однако, как известно не все образовательные программы ведут к получению профессии, так как являются академическими. Таким образом, рамочность образовательных стандартов позволит на их базе разрабатывать и прикладные и теоретические программы, повышающие конкурентоспособность выпускников ВУЗов, но тут возникает вопрос насколько такой образовательный стандарт нужно согласовать с профессиональным? Очевидно, что точное соответствие важно для программ дополнительного образования, программам переподготовки и повышения квалификации. Конкретная образовательная программа должна формировать как «ориентированные на будущее» компетенции, сформулированные в стандарте, так и те, что способствуют трудоустройству выпускника в конкретном регионе на конкретных предприятиях. Здесь учет требований профессиональных стандартов просто обязателен.

Лесное образование в РФ имеет славную историю и признанные заслуги. Будучи направленным на практическую деятельность выпускников, оно остается академическим как в плане широты и глубины преподаваемых дисциплин, так и плане значительной инертности в плане преобразований и сложности в поиске новых направлений и предложений на быстро изменяющемся рынке труда [4].

Только при совместных усилиях профессионального сообщества работодателей и профессорско-преподавательского состава вузов можно создать среду, дающую возможность найти различные возможности, способы и методы взаимодействия сферы производства и сферы образования. Возможно, что одним из направлений решения проблемы будет создание базовых кафедр –

хотя это не всегда возможно для региональных вузов, когда на «подконтрольных» им территориях отсутствуют производственные структуры, обладающие достаточным потенциалом для участия в образовательной деятельности и для обеспечения выпускникам качественного образования.

Выводы

В современной литературе справедливо подчеркивается, что «уровень компетенций выпускника зависит не только от него самого, но и от того, насколько методически грамотно в учебный план включены дисциплины, формирующие перечисленные в ФГОС компетенции. При этом со стороны вузов должно присутствовать стремление разнообразить формы доводки выпускников вузов до уровня «готовых» специалистов на основе сотрудничества с работодателем.

Библиографический список

1. Методические рекомендации по актуализации действующих федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования с учетом принимаемых профессиональных стандартов, утвержденные Министром образования Российской Федерации Ливановым Д.В. от 22.01.2015 № ДЛ-02/05вн. URL: <http://fgosvo.ru/support/43/5/8/>
2. Сайт Агентства стратегических инициатив. URL: http://asi.ru/upload/iblock/489/DK_NSKK_22-04-2013_v24.pdf
3. Российская газета. 2012. 12.07. URL: <http://www.rg.ru/2012/12/07/prof-dok.html>
4. Значимость профессиональных стандартов в улучшении трудовых взаимоотношений в лесной отрасли. Теппоев А.В., Соколова В.А., Войнаш С.А., Марков В.А., Парфенопуло Г.К. В сборнике: Наука и инновации: векторы развития Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых. Сборник научных статей. В 2-х книгах. 2018. С. 119-121.

Сведения об авторах

ФИО	Кретинин В.И.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4424-8046
e-mail	kvi_1960@mail.ru
ФИО	Теппоев А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4451-4059
e-mail	avt01@inbox.ru

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

ФИО Лаптев Д.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический
университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код отсутствует
e-mail denis.laptev.1997@bk.ru

ФИО Усачева В.Л.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический
университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код отсутствует
e-mail v_usacheva@mail.ru

Аннотация

Проведена оценка современного состояния профессиональных стандартов в лесной отрасли и их соответствия действующим образовательным стандартам.

Ключевые слова: профессиональные стандарты, образовательные стандарты.

УДК 331.103.

Разделы рубрикатора ГРНТИ 14.01.75

Разработка системы показателей качества электронных курсов

Шифрин Б.М., Елисеев И.В., Грачев А.М.

Введение.

В российскую систему образования в соответствии с современными мировыми тенденциями повсеместно внедряются технологии электронного

обучения (ЭО), которое применяется на вузовском, межвузовском, региональном и корпоративном уровнях. ЭО играет все большую роль, а одним из наиболее популярных и широко распространенных его видов на сегодняшний день являются массовые открытые онлайн-курсы (МООК).

При этом проблема доверия к результатам ЭО стоит весьма остро. Темами дискуссий по онлайн-образованию все чаще становятся механизмы оценки и контроля качества учебного процесса в рамках ЭО, а также подготовка экспертов в соответствии с новыми требованиями российского законодательства.

В настоящее время в нашей стране реализуется ряд инициатив, направленных на создание необходимых условий для развития в России цифровой экономики. В первую очередь это «Стратегия развития информационного общества в Российской Федерации на 2017-2030 годы» и Программа «Цифровая экономика Российской Федерации» [1]. Реализация приоритетного проекта в области образования «Современная цифровая образовательная среда в РФ» предусматривает ряд направлений, одним из ключевых является формирование системы экспертной и пользовательской оценки качества содержания онлайн-курсов.

Аналитический обзор международных систем оценки онлайн-курсов.

Проблема состоит в том, что на данный момент в Российской Федерации не разработаны единые нормативы, регулирующие наполнение электронного курса теми или иными формами подачи информации и соответствующие формы контроля полученных знаний. Отсутствие нормативов связано с отсутствием полноценной модели, которая бы в полной мере способствовала грамотной оценке эффективности онлайн-курсов [2, 3].

Очевидно, что для создания полноценной системы оценки качества онлайн-курсов целесообразно опираться на хорошо зарекомендовавшие себя международно-признанные образцы. Некоторые из упомянутых выше систем мониторинга качества могут быть адаптированы к применению для оценки электронных курсов в России, поскольку включают расширенные описания, примеры и рекомендации к различным составляющим онлайн-курсов.

В последние несколько лет по всему миру достаточно успешно развиваются системы, специализирующиеся на управлении качеством ЭО [4].

Европейской ассоциацией гарантий качества в высшем образовании (ENQA, European Network for Quality Assurance in Higher Education) разработаны «Стандарты и рекомендации по обеспечению качества в европейском пространстве высшего образования (ESG), содержащие базовые требования к системе качества образовательных учреждений, в том числе для оценки качества ЭО [5].

Европейский Фонд гарантий качества электронного обучения (EFQUEL, European Foundation for Quality in e-Learning) для формирования системы обеспечения качества ЭО реализует два международных проекта по сертификации: UNIQUE и ECB CHECK. Программа «Гарантия качества e-learning в европейских университетах (UNIQUEe)» предназначена для сертификации на институциональном уровне, допустима оценка и отдельных факультетов [6]. В отличие от UNIQUEe проект ECB CHECK предусматривает сертификацию отдельных образовательных программ [7].

В США большой популярностью пользуется Национальный стандарт оценки онлайн-курсов Quality matters (QM). Основными характеристиками QM являются оценка отдельных программ и курсов, привлечение экспертов из числа профессорско-преподавательского состава, а также система рейтингов для оценки качества образовательных онлайн-курсов. Рейтинг QM состоит из 40 специальных критериев, которые сгруппированы в 8 общих стандартов, включающих в себя следующие: общую характеристику курса; учебные цели; оценки и измерения; ресурсы и материалы; вовлеченность студентов в учебный процесс; технологии курса; поддержку учащихся; доступность [8].

Подход к построению системы показателей качества электронных курсов.

Представленные подходы к оценке качества ЭО могут быть адаптированы к применению в России, в том числе и для оценки отечественных электронных курсов. При этом необходимо учитывать специфику российской системы образования и требований национальных стандартов, гармонизированных с основополагающими международными стандартами.

Оценку онлайн-курсов упрощенно можно разделить на два независимых «потока» [1]: обязательную оценку онлайн-курса (внешний контроль на соответствие формальным требованиям), являющуюся предметом исследования в данной статье, и непрерывную оценку со стороны пользователей курса, уже размещенного в системе дистанционного обучения (СДО) в электронной информационно-образовательной среде (ЭИОС) конкретного образовательного учреждения (рис. 1).

Методика построения системы показателей качества электронных курсов в соответствии с большинством упомянутых выше подходов основана на иерархической концепции построения совокупности показателей качества [9]. Вершиной иерархии является комплексный показатель, отражающий качество курса. Затем показатели более высокого уровня декомпозируются на более детальные, отражающие определенную специфику. При этом, разрабатывая систему показателей качества онлайн-курса, следует учитывать, что такие ресурсы не имеют «жесткого» итогового варианта структуры и содержания,

постоянно изменяются в процессе своего жизненного цикла, адаптируясь к изменяющимся требованиям учебного процесса и результатам обучения.

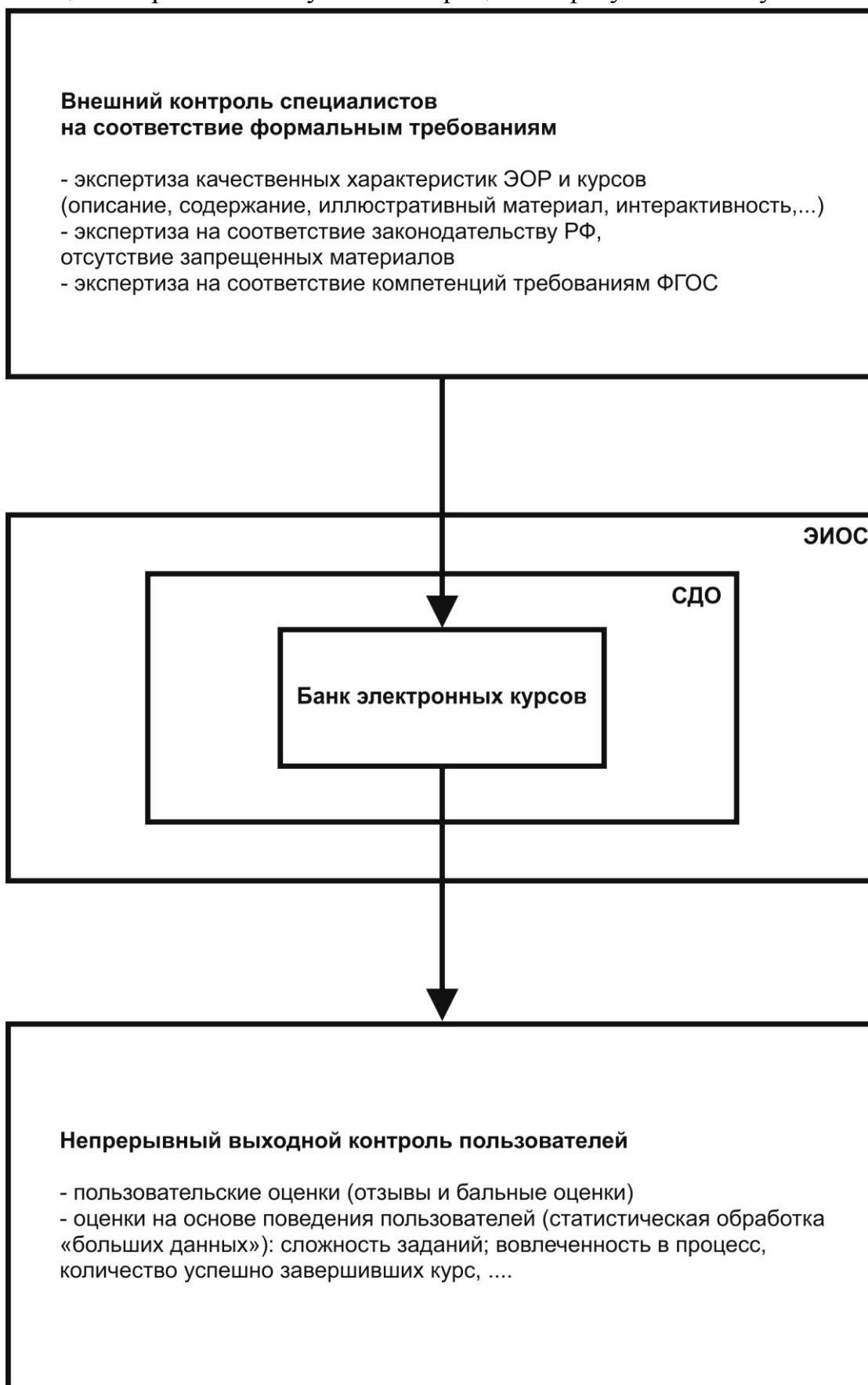


Рис. 1. Общая модель оценки онлайн-курсов

Таким образом, в основе любой процедуры оценивания участвуют, в конечном счете, количественные и качественные показатели. Для формального проведения такой процедуры формируется базис ключевых показателей качества курса. Формальную процедуру оценки проводят на основе экспертной оценки. Для этого формируется совет, который будет проводить оценку, в него включаются специалисты различных направлений: специалисты в оцениваемой области знаний, методисты, дизайнеры, психологи и программисты. Традиционные подходы к оценке предлагают функцию свертки значений показателей в некий итоговый балл, число.

Упрощенный квалиметрический подход оценки качества состоит из следующих шагов:

1. Выявляются индикаторы (показатели, критерии), влияющие на качество.
2. Индикаторы количественно оцениваются экспертами.
3. Для каждого индикатора вводятся весовые коэффициенты.
4. Конечные результаты могут представляться одним числом, сверткой значений показателей, например, суммой произведений оценок индикаторов на их весовые коэффициенты.

По результатам проведенной экспертизы может формироваться итоговое экспертное заключение, на основании которого электронному курсу присваивается статус: «На доработку» – предполагает доработку курса согласно замечаниям экспертной комиссии и предоставление его на повторную экспертизу; «Электронный курс для смешанного и онлайн обучения» – дает право на размещение курса в СДО ЭИОС конкретного образовательного учреждения и использование его в учебном процессе; «Электронный курс для открытого образования» – признает качество курса достаточным для участия в межвузовских обменах, а также для представления в MOOK с учетом необходимых формальных требований. Рекомендуются для регистрации в соответствующих государственных органах.

Ограниченность использования исключительно квалиметрического подхода связана с тем, что часть показателей (например, «Наглядность и доступность материала») носит качественный характер и не может быть формализована одним числом.

Тут появляется опасность ухода в крайности: попытка представления изначально размытых критериев в виде обычных четких значений с одной стороны, и формализация всех входных показателей, пусть даже очевидно конкретных, в виде размытых переменных.

При таких обстоятельствах целесообразно разбить множество всех входных факторов на два подмножества: четкие значения, которые можно

формализовывать и обрабатывать как обычные числа, и размытые лингвистические переменные.

Для обработки качественных показателей удобно использовать методы нечеткой логики [10-11]. Понятие нечеткого множества – это попытка формализации лингвистической информации для построения математических моделей. В основе этого понятия лежит представление о том, что составляющие данное множество элементы, обладающие общим свойством, могут обладать им в различной степени и, следовательно, принадлежать к этому множеству с различной степенью достоверности.

Структурно-целевые показатели, показатели информационно-методического и организационного обеспечения, а также показатели, характеризующие контролирующие функции, могут быть представлены обычными числовыми значениями. Условно принимая все эти показатели равнозначными, совокупное значение свертки можно формализовать в виде обычной суммы и далее обрабатывать как четко определенную лингвистическую переменную. При этом группу показателей, характеризующих качество контента и имеющую явно выраженный качественный характер, экспертам удобно представлять в виде размытых лингвистических переменных.

Заключение.

В статье предлагается подход к построению системы показателей качества электронных курсов на основе агрегирования обычных числовых значений и размытых лингвистических переменных на базе нечеткой логики. Дальнейшие исследования должны быть направлены на построение и тестирование модели, сбор статистической и экспертной информации для построения функций принадлежности лингвистических переменных и формирования базы правил, связывающих входные и выходные переменные.

Библиографический список

1. Современная цифровая образовательная среда в РФ [Электронный ресурс]. – URL: <http://neorusedu.ru/> (дата обращения: 06.03.2020).
2. *Лихачев И.П., Шифрин Б.М., Чураков А.В.* Внедрение электронного обучения для работников лесного сектора. В сборнике: Актуальные вопросы в лесном хозяйстве Материалы III международной научно-практической конференции молодых ученых. 2019. С. 113-115.
3. *Лихачев И.П., Шифрин Б.М.* Исследование проблем внедрения электронного обучения для работников лесного сектора. В сборнике: Актуальные проблемы развития лесного комплекса Материалы XVII Международной научно-технической конференции. Ответственный редактор Ю.М. Авдеев. 2019. С. 156-158.
4. *Малинин Н.В.* Модели оценки качества электронного образования // Преподаватель XXI век, 2014. № 3. Ч. 1. С. 93-98.

5. *Grifoll J.* E-learning in the context of the Standards and Guidelines for Quality Assurance in the European Higher Education Area (ESG), *Grifoll, J. et al.* Quality Assurance of E-learning, Helsinki, 2010.
6. *Белоконьтов А.В.* Механизмы оценки качества e-learning в деятельности вузов: международный аспект // Гарантии качества профессионального образования. Барнаул, 2010.
7. *Ehlers, U.-D.* Potentiale von E-learning fuer Capacity Building. Studie «E-learning by InWEnt» Universitat Duisburg-Essen // *U.-D. Ehlers et al.* Essen, 2007.
8. *Shattuck, K.* Quality Matters™: A Case of Collaboration and Continuous Improvement for Online Courses // Cases on Building Quality Distance Delivery Programs. IGI-global, 2010.
9. *Шалкина Т.Н.* Показатели и критерии качества электронного учебного курса // Образовательные технологии и общество, 2015.
10. *Шифрин Б.М.* Оптимизация процесса шлифования на базе нечеткой логики // Машины, агрегаты и процессы. Проектирование, создание и модернизация: Материалы международной научно-практической конференции. Санкт-Петербург: СПбФ НИЦ МС, 2018. №1. С. 237.
11. *Шифрин Б.М.* Разработка модели процесса контроля качества поверхности древесностружечных плит на основе нечеткой логики // Автоматизированное проектирование в машиностроении, 2017. №5. С. 39-43.

Сведения об авторах

ФИО	Шифрин Б.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5125-4307
e-mail	shifrinb@mail.ru
ФИО	Елисеев И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4541-3386
e-mail	yeliseyef@mail.ru
ФИО	Грачев А.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	gras1@mail.ru

Аннотация

Проведен аналитический обзор международно-признанных образцов систем оценки онлайн-курсов. Предлагается подход к построению системы показателей качества электронных курсов на основе агрегирования обычных числовых значений и размытых лингвистических переменных на базе нечеткой логики.

Ключевые слова: электронное обучение, онлайн-курс, показатели качества, свертка критериев, нечеткая логика.

УДК 378

Разделы рубрикатора ГРНТИ 14.15.15

Экспертный подход при проектировании логистических сетей

Меламед Н.В., Соколова В.А., Уткин Л.В., Кривоногова А.С., Иванов А.М.

Введение

В настоящее время развитие международного рынка производства продукции идет по пути специализации и одновременной интеграции, когда промышленные предприятия концентрируются на направлении своей работы, рассматриваемом ими в качестве основного, а второстепенные функции (транспорт, склад, сбыт) отдают логистическим посредникам (поставщикам, транспортным перевозчикам, экспедиторам и т.д.). Интегративный подход требует объединения различных функциональных областей и их участников в единую логистическую систему или цепь. Предприятия, объединенные в логистическую цепочку, получают неоспоримые преимущества перед остальными: объединяются их независимые риски, снижаются затраты, улучшается качество функционирования всей логистической системы. И в современных экономических условиях между собой конкурируют уже не отдельные предприятия, а логистические цепи, в состав которых эти предприятия входят [1].

На сегодняшний день только в некоторых функциональных областях логистики имеется разработанный аналитический аппарат, позволяющий решать частные задачи оптимизации транспортных, складских и распределительных процессов в промышленных, транспортных и торговых предприятиях.

В настоящее время логистические цепи построены на основе одного ключевого показателя, например общих логистических затрат, качества сервиса, производительности и т.д. Желание по возможности учесть большинство ключевых факторов с очевидностью приводит к необходимости применения методологии многокритериальной оптимизации. Однако

применение многокритериального подхода к рассматриваемым проблемам выбора сдерживается целым рядом таких факторов как: 1) разнонаправленность критериев, 2) их смешанный характер (количественные и качественные критерии, причем последние имеют тенденцию доминировать), 3) неточностью, неполнотой и субъективностью информации о параметрах проектируемой системы; 4) при большом количестве логистических посредников (звеньев логистической цепи), выполняющих соответствующие операции, наблюдается наличие большого количества альтернативных вариантов конфигурации логистических цепей, сформированных из различных звеньев.

Таким образом, очевидна необходимость выполнения системного анализа логистических цепочек на основе разработки новых методов многокритериального принятия решений, которые учитывают тот факт, что оценки экспертов или лица принимающего решение обычно являются неточными.

Методы и алгоритмы

Выбор варианта конфигурации логистической сети

Под конфигурированием логистической сети понимают определение состава звеньев логистической системы, их мощности и размещение в пространстве в соответствии с принятой логистической стратегией.

Поставщик и потребитель материального потока в общем случае представляют собой две микрологистические системы, связанные логистическим каналом (каналом распределения). Логистический канал – это частично упорядоченное множество различных посредников, осуществляющих доведение материального потока от конкретного производителя до его потребителей. Множество является частично упорядоченным до тех пор, пока не сделан выбор конкретных участников процесса продвижения материального потока от поставщика к потребителю. После этого логистический канал преобразуется в логистическую цепь. Совокупность логистических цепочек образует логистическую сеть предприятия.

При принятии решения о выборе канала распределения происходит выбор формы товародвижения – транзитной или складской, а при принятии решения и о выборе логистической цепи – выбор конкретного перевозчика, страховщика, экспедитора, дистрибьютора, банкира и т. д. Решение об оптимальной конфигурации логистической сети приходится выбирать из множества альтернатив, которые должны быть предварительно спроектированы.

Классический подход к проектированию означает переход от частного к общему (индукция). При таком подходе каждое звено логистической цепи проектируется отдельно, ориентируясь на собственные цели и критерии эффективности. Формирование цепи происходит путем слияния ее

компонентов, разрабатываемых отдельно. В этих условиях принятие частных решений, без учета общих целей функционирования системы и предъявляемых к ней требований, может оказаться недостаточным, а возможно и ошибочным. Такой подход к проектированию структуры цепи поставок не учитывает интегративных качеств логистической системы. Интегративные качества не свойственны ни одному элементу в отдельности и могут быть охарактеризованы определением «эффект суммы превышает сумму эффектов».

Функциональный подход основан на последовательном оценивании звеньев цепи по функциональному признаку, когда выходной поток каждого предыдущего звена логистической цепи является входным для последующего. Результирующим материальным потоком является выходной поток последнего звена логистической цепи. Достоинством такого подхода является возможность оценивать альтернативы, принадлежащие к одной функциональной области во взаимосвязи с параметрами предыдущей. Однако при этом не учитывается тот факт, что существует целый ряд критериев, которые, не являясь решающими на текущем функциональном этапе, влияют на эффективность последующих этапов. Системный подход предполагает последовательный переход от общего к частному, когда в основе рассмотрения лежит общая цель, ради которой создается система.

Рассмотрим варианты построения логистических сетей для производственного предприятия при изготовлении изделия A_i , состоящего из компонент A_{ij} .

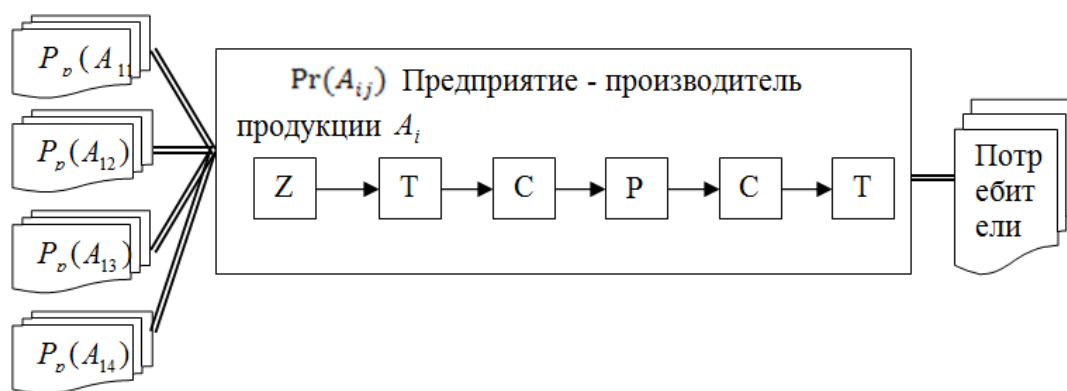


Рис. 1. Логистическая сеть предприятия
 == – Логистический канал, Z – закупка, Т – транспорт,
 С – склад, Pr – производство, D – распределение

Начальная точка материального потока – склад поставщика A_{ij} , конечная – склад потребителя A_i . Обозначим $P = (P_1, P_2, \dots, P_p)$ – множество поставщиков, предоставляющих свои услуги $P(A_{ij}) = (P_1(A_{ij}), P_2(A_{ij}), \dots, P_p(A_{ij}))$ – множество

производителей продукта A_{ij} (поставщики); $Cons(A_{ij})$ – потребитель продукта A_{ij} ; $Cons(A_i)$ – потребитель продукта A_i .

Альтернатива №1: Инициатором создания логистической цепочки выступает предприятие-производитель продукта A_i , которое связано с поставщиками исходных для его деятельности продуктов и с потребителями своей продукции логистическим каналом с прямыми связями, когда между поставщиком и потребителем не существует посредников и все операции, связанные с транспортировкой, хранением и распределением материалов и готовой продукции выполняет предприятие-производитель продукции A_i . Логистический канал в этом случае имеет структуру: $P_p(A_{ij}) - Pr(A_{ij}) - Cons(A_{ij})$. Логистическая система (рис. 1) представляет собой совокупность 4-х логистических цепей, каждая из которых составлена из 3-х звеньев: поставщик A_{ij} , предприятие-производитель продукта A_i , потребитель продукта A_i . Каждое из звеньев ЛЦ представляет собой микрологистическую систему, составленную из подсистем: снабжение (Z, T, C), производство (Pr), сбыт (C, T). В качестве поставщиков компонент A_{ij} и потребителей продукции A_i могут выступать некоторые промышленные или торговые предприятия.

Альтернатива №2: форма товародвижения транзитная с возможностью привлечения транспортно-экспедиционных фирм (логистических посредников). Логистический канал имеет следующую структуру: $P_p(A_{ij}) - T(A_{ij}) - Pr(A_{ij}) - T(A_{ij}) - Cons(A_{ij})$.

В этом случае необходимо принимать решение отдается функция транспортировки материалов и/или готовой продукции на аутсорсинг или нет.

На рис. 1 показан случай однозвенного производства изделия A_i , когда для его производства необходимы компоненты A_{ij} , т. е. $A_i = \sum_{j=1}^n A_{ij}$, где n – число компонент изделия A_i . Каждая из компонент A_{ij} может быть либо материалом,

либо полуфабрикатом, $A_{ij} = \sum_{k=1}^m A_{ijk}$, где m – число компонент изделия A_{ij} и т.д.

На современных промышленных предприятиях число компонент может исчисляться сотнями и тысячами единиц. Решение вопроса «производить или покупать» является в ряде случаев ключевым для сохранения имиджа и конкурентоспособности предприятия, так как носит стратегический характер и влияет на структуру логистической цепочки. Традиционно такое решение

принималось на основе сопоставления затрат на закупку и на производство собственными силами и чаще решение принималось в пользу собственного производства, что означало расширение производственной базы. В последние годы ввиду повышения требований к гибкости и конкурентоспособности предприятий решение «производить или покупать» все чаще решается в пользу поиска внешнего поставщика.

Критерии оценки логистических сетей

Ключевыми критериями при сравнении различных вариантов логистических цепей являются:

- общие затраты;
- продолжительность исполнения заказа;
- максимизация конкурентных преимуществ;
- качество логистического сервиса;
- неопределенность и риск.

Рассмотрим детальнее выбранные основные критерии. В большинстве случаев критерии C_1, C_2 являются количественными, а C_3, C_4, C_5 – качественными. Однако зачастую на момент принятия решения принципиально отсутствует информация, позволяющая объективно оценить количественные критерии, но поскольку решение должно быть принято, то недостаток информации необходимо восполнить. Это можно сделать лишь с участием людей на основе их опыта и интуиции, т. е. с привлечением экспертов.

В настоящее время логистические сети построены на основе одного ключевого показателя, например общих логистических издержек, качества сервиса, производительности и т.д. Однако при этом необходимо (как и для большинства задач однокритериальной оптимизации) ввести ограничения на другие существенные с точки зрения стратегии фирмы критерии. Для примера критерия минимизации общих логистических издержек таким показателем будет качество логистического сервиса. Проблема реализации логистической стратегии минимизации общих логистических издержек осложняется слабой формализуемостью параметров качества логистического сервиса и субъективностью оценки качества сервиса со стороны покупателей. Желание по возможности учесть большинство ключевых факторов с очевидностью приводит к необходимости применения методологии многокритериальной оптимизации. Сложность многокритериального подхода к рассматриваемым проблемам выбора заключается также в разнонаправленности критериев, в их смешанном характере [2].

В настоящее время разработано большое количество подходов для решения подобных многокритериальных задач (AUT, АНР, ELECTRE), среди

которых наиболее популярным является метод анализа иерархий (АНР/МАИ) [2].

Принятие решений в группе существенно отличается от индивидуального принятия решения. У каждого из членов группы имеется свой взгляд на проблему, и в этом случае возникает задача, как объединить суждения нескольких экспертов, каждый из которых имеет отличное от других мнение, отличную степень надежности или доверия к его оценкам.

Анализ существующих методов объединения экспертных суждений в задачах МПР показывает, что в разработанных методах решение производится либо на основе информации, полученной от одного источника, либо путем дополнительных преобразований типа усреднения, взвешивания, согласования различных оценок, которые могут привести к необоснованным и необратимым искажениям исходных данных. Поэтому необходимы такие математические методы, которые позволяли бы одновременно учитывать оценки, в том числе и противоречивые, всех экспертов без поиска компромисса между мнениями отдельных экспертов при условии, что не существует «главного» эксперта, и мнения всех экспертов считаются одинаково важными.

В связи с этим в данной модификации МАИ предлагается следующий подход к коллективному принятию решения.

- 1) Представление проблемы в виде иерархии посредством динамического обсуждения ее группой экспертов (аналогично МАИ).
- 2) Сбор информации посредством процедуры опроса экспертов в виде М-этапной схемы.
- 3) Математическая обработка и анализ собранной информации.

В предлагаемом алгоритме (рис. 2) в качестве методов расчета предлагается использовать методы обработки неточных парных сравнений для решения многокритериальных задачи принятия решений [3-10].

Заключение

Выполнена формализация производственных задач, включая задачи выбора отдельных звеньев производственной цепи (поставщиков, перевозчиков, складов) и выбора производственных цепей, базирующаяся на принципах системного подхода. В качестве методов расчета предлагается использовать методы обработки неточных парных сравнений для решения многокритериальных задачи принятия решений [3-10].

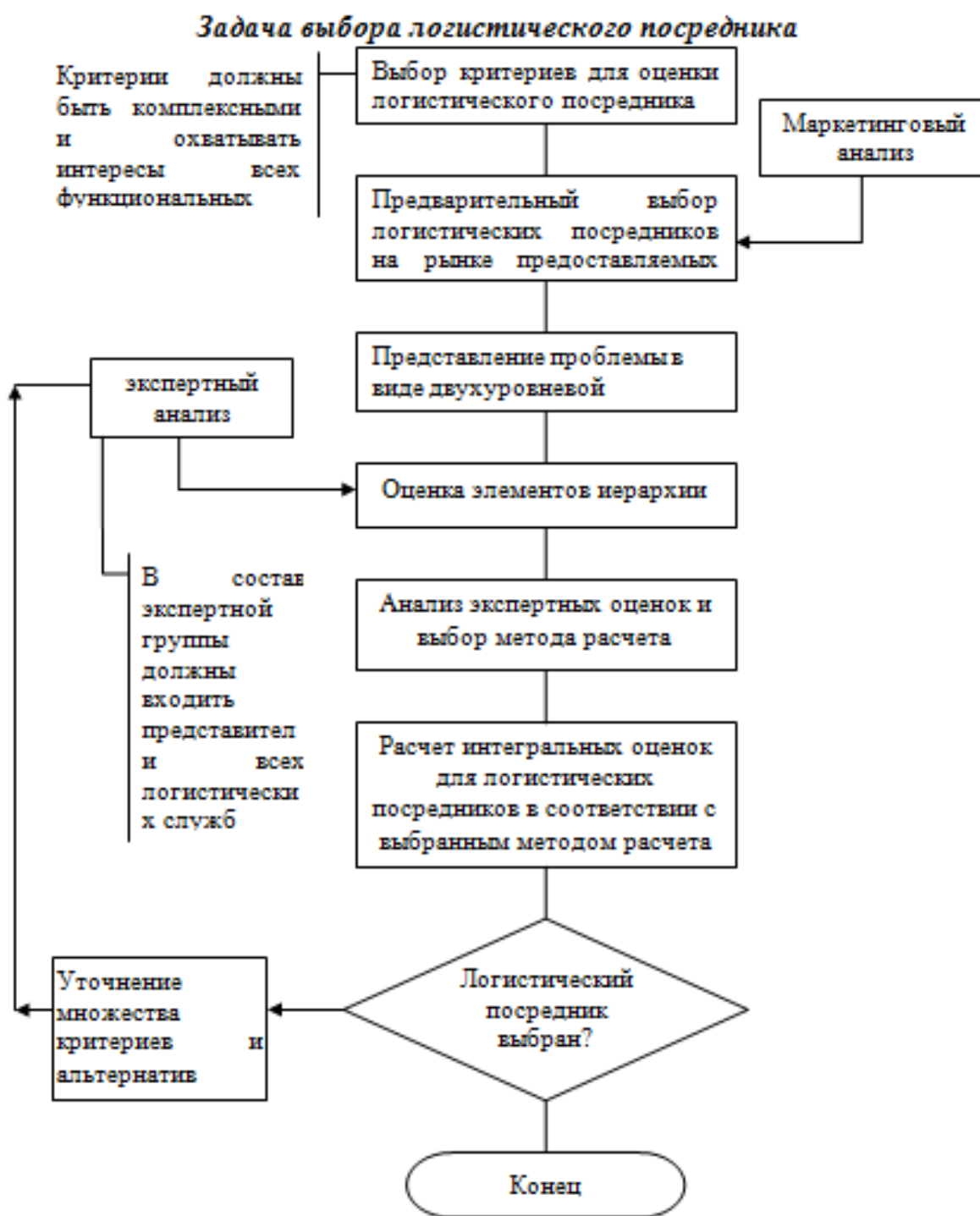


Рис. 2. Алгоритм выбора логистических посредников

Библиографический список

1. Бауэрсокс Дональд Дж., Клосс Дейвид Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. – М.: Олимп-Бизнес, 2001. – 640 с.
2. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий/Пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе – М.: Радио и связь, 1993. – 278 с.
3. Симанова Н.В. Логистическая информационная система управления лесопромышленным предприятием// Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Сборник докладов молодых ученых на ежегодной научной конференции Санкт-Петербургской лесотехнической

- академии: Вып.9/ Под общей ред. *А.В. Селиховкина, Э.М. Лаутнера*. СПб: СПбГЛТА, 2005. – с. 62-65.
4. *Симанова Н.В.* Обобщенный метод парных сравнений для решения многокритериальных задач// Сборник статей XX международной научно-практической конференции (зимняя сессия) «Математические методы и информационные технологии в экономике, социологии и образовании». – Пенза: «Приволжский Дом знаний», 2007. – с. 259-262.
 5. *Симанова Н.В.* Новые методы многокритериального принятия решений в логистике// Сборник докладов II всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и преподавателей «Актуальные проблемы управления техническими, информационными, социально-экономическими и транспортными системами», Часть 2, СПб: Изд-во СЗГТУ, 2007. – с 122 - 126.
 6. *Симанова Н.В.* Новые методы принятия многокритериальных решений при проектировании логистических цепей лесопромышленного комплекса// Сборник материалов Международной научно-практической конференции молодых ученых, проходившей 13-14 ноября 2007 года в Санкт-Петербургской государственной лесотехнической академии «Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка». – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2008. – с 221-227.
 7. *Симанова Н.В., Уткин Л.В.* Мягкие измерения// Неточные предпочтения для мягкого ранжирования объектов в условиях неполноты информации// Сборник докладов XI международной конференции по мягким вычислениям и измерениям. Том 1, СПб: Изд-во СПбГЭТУ, 2008. – с.205-209.
 8. *Уткин Л.В., Симанова Н.В.* Использование модели Дирихле и теории свидетельств для модификации метода анализа иерархий// Труды XI международной научно-практической конференции «Системный анализ в проектировании и управлении». Часть 1. – СПб: Изд-во Политехнического университета, 2007. – с. 116-117.
 9. *Уткин Л.В., Симанова Н.В.* Метод анализа иерархий при неполной информации о критериях и альтернативах// Нечеткие системы и мягкие вычисления». Том 2, номер 2, 2007. – с. 31-40.
 10. *Уткин Л.В., Симанова Н.В.* Обобщение метода анализа иерархий для принятия решений при неточных сравнениях с использованием теории Демпстера-Шейфера// ИЗВЕСТИЯ ОрелГТУ. Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии: информационные системы и технологии, № 4, 2007. – с. 223-229.
 11. *Melamed N V and Sokolova V A* 2018 Developing the model of an automated rotary-cut veneer sorting system IOP Conference Series: Materials Science and Engineering 450(4), 042007

Сведения об авторах

ФИО	Меламед Н.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-2491
e-mail	natali@melamed.su
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Уткин Л.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	lev.utkin@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Иванов А.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	andreyiv1997@mail.ru

Аннотация

В статье исследуются подходы при проектировании логистических сетей. Показано место задач принятия решений в этом процессе. Выполнен анализ существующих методов объединения экспертных суждений в задачах многокритериального принятия решений. Предложена модификация метода анализа иерархий.

Ключевые слова: логистические сети, многокритериальное принятие решений, методы обработки групповых экспертных суждений, модификация метода анализа иерархий.

УДК 519.816

Разделы рубрикатора ГРНТИ 28.29.09, 82.05.21

Анализ стратегий организации систем ТО и Р

Сидоренков Н.В., Мартынов Б.Г.

Введение

Под системой технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) подразумевается совокупность взаимосвязанных средств, документации и исполнителей, необходимых для поддержания и восстановления качества изделий, входящих в эту систему [1].

В качестве целей системы ТО и Р определены следующие [2,3]:

- поддержание оборудования в работоспособном состоянии в течение всего срока эксплуатации;
- обеспечение надёжной работы оборудования;
- обеспечение производительности и качества выпускаемой продукции;
- выполнение требований по охране труда и защите окружающей природной среды.

Организация системы ТО и Р осуществляется на основе принятия (явным образом или в соответствии со сложившейся практикой) решений по следующим фундаментальным вопросам:

- выбор стратегии ТО и Р оборудования;
- определение способа организации ремонтного обслуживания;
- разработка критериев оценки эффективности ремонтного обслуживания.

Ряд авторов [4,5] определяет стратегию ТО и Р как совокупность правил и норм, обеспечивающих управление техническим состоянием объекта путем заданного управления процессом технической эксплуатации.

По существу, стратегия ТО и Р – это последовательность действий, которыми ремонтная служба (РС) предприятия руководствуется в своей деятельности по обеспечению работоспособности оборудования.

Результаты исследований

К реактивным стратегиям ТО и Р, можно отнести стратегию «по потребности», необходимость ремонтных воздействий в которых обуславливается наступлением некоторого критического в рамках этой стратегии события (отказа, достижения предельных величин регламентируемых параметров). Превентивные стратегии ТО и Р направлены на предупреждение возникновения критического события и характеризуются возможностью осуществления предварительного планирования и подготовки ТО и Р (заказ ремонтных бригад, материально-технического обеспечения) в противоположность реактивным стратегиям, когда необходимость проведения ТО и Р, а, соответственно, и обеспечение их подготовки, до наступления критического события непредсказуемы [3].

Стратегия по «потребности» – это такой вид воздействий, при котором ТО и ремонт техники проводятся только в случае выхода ее из строя или выработки ресурса. К основным достоинствам данной стратегии ТО и Р следует отнести полное использование ресурса оборудования, и минимальные затраты на содержание ремонтной службы. К недостаткам такой стратегии следует отнести: возможность внеплановых простоев техники из-за внезапных отказов; значительное увеличение издержек и продолжительности выполнения работ по ТО и Р; отсутствие возможности планирования ресурсов (финансовых, временных, рабочей силы и прочих), необходимых для выполнения ТО и Р.

На смену стратегии «по потребности» пришла планово-предупредительная стратегия (ППР) ТО и Р, основой которой является плановое периодическое проведение профилактических работ, подразумевающая превентивные ТО и Р на основании статистических сведений о сроке службы оборудования. Достоинством такой стратегии является резкое снижение количества аварийных отказов. Стратегия ППР обеспечивает наилучшие условия для планирования ресурсов. Кроме этого, она уменьшает опасность использования оборудования и техники, выход которого из строя может представлять опасность для окружающей среды, здоровья и жизни человека. Основным недостатком ППР заключается в проведении лишних ремонтов фактически исправной техники. Все это приводит к неоправданному росту эксплуатационных затрат.

Развитие науки и техники предопределило возникновение новой отрасли знаний – технической диагностики, исследующей техническое состояние объектов с целью определения вида и объема технических обслуживаний или ремонта, а также остаточного ресурса отдельных составных частей и объекта в целом. Достижения технической диагностики были использованы как основание для реализации стратегии ТО и Р по техническому состоянию (ТС). В первую очередь, стратегия ТО и Р по ТС направлена на устранение недостатков стратегии ППР, а именно на снижение количества необоснованных ремонтных воздействий с целью максимального использования ресурса оборудования. При применении данной стратегии за счёт мониторинга ТС на 25 – 40 % увеличивается межремонтный ресурс по сравнению с ППР. По мере развития методов и средств технического диагностирования область распространения третьей стратегии расширяется.

Одним из недостатков этой стратегии может быть вариант ремонта нескольких агрегатов, превышающих возможности ремонтной службы.

С целью обеспечения высоких показателей работоспособности оборудования в последнее время всё большую популярность приобретает проактивная стратегия ТО и Р. Анализ, проведенный в работе [3], позволяет

определить проактивную стратегию ТО и Р, как наиболее эффективную и целесообразную для внедрения в современных экономических условиях. Проактивная стратегия объединяет в себе достоинства превентивных ремонтных воздействий системы ППР и информационное обеспечение процесса принятия решений, характерное для ТО и Р по ТС оборудования.

Сущность проактивной стратегии ТО и Р оборудования заключается в систематическом устранении источников дефектов, приводящих к преждевременному выходу техники из строя.

Вначале проводится анализ и определение причин возникновения наиболее часто встречающихся дефектов их влияние на межремонтный ресурс. При этом учитываются все возможные факторы, которые приводят к развитию различных видов неисправностей. Этими факторами являются конструктивные, технологические, воздействие окружающей среды, условия эксплуатации и техническая эксплуатации техники, квалификация персонала, степень износа техники, проведение ТО и Р и другие.

Проактивная стратегия ТО и Р базируется на оценке ТС оборудования. Применение проактивной стратегии ТО и Р увеличивает срок службы техники за счёт снижения скорости развития или устранения зарождающихся неисправностей на начальной стадии их возникновения; сокращает затраты на проведение ТО и Р; снижает вероятность аварийных отказов, повышает коэффициент технического использования техники.

В некоторых случаях, когда техника или оборудование работает в тяжелых эксплуатационных условиях, применяют стратегию ТО и Р по надежности. Данная стратегия должна обеспечивать работоспособность техники или оборудования заданное время в текущих эксплуатационных условиях. Стратегия по надежности включает в себя все положительные качества ППР, стратегии по ТС и проактивной. Она предусматривает увеличение срока службы и производительности техники, уменьшения числа отказов, развитие современного информационного обеспечения [6].

Построение системы ТО и Р обеспечивает надежность техники, а разработка стратегии ТО и Р, в свою очередь, зависит от надежности отдельных агрегатов и механизмов.

Заключение

Из приведенного анализа вытекает один недостаток: все формы организации и существующие стратегии разработок ТО и Р в лесном хозяйстве направлены только на поддержание технического состояния на определенном уровне и не учитывают индивидуальной особенности обслуживаемой техники. Не достаточна роль технического диагностирования техники.

Из вышесказанного следует, что наиболее перспективной организацией системы ТО и Р является проактивная стратегия профилактики, основанная на измерении текущего технического состояния техники, анализа всех отказов, определения надежности отдельных элементов и объекта в целом и назначении оптимальных межремонтных ресурсов и срока службы.

Библиографический список

1. ГОСТ 18322-78. Система технического обслуживания и ремонта техники. Термины и определения. – М.: Стандартинформ, 2007. – 12 с.
2. Селиванов А.И. Теоретические основы системы ТО и ремонта машин в сельском хозяйстве: автореф. дисс. на соиск. учен. степ. д-ра техн.наук/ Селиванов Александр Иванович – М.,1959.– 42 с.
3. Бобровицкий В.И. Совершенствование системы ТО и Р оборудования в условиях централизации ремонтной службы предприятия / А.В.Сидоров //Вибрация машин: измерение, снижение, защита. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – № 1(24). – С. 23 – 28
4. Макаровский И.М. Основы технической эксплуатации и диагностики авиационной техники: Учебное пособие – Самара: Самарский гос. аэрокосм. университет, 2004. – 116 с.
5. Кокорев Г.Л. Стратегии технического обслуживания и ремонта автомобильного транспорта / И.А.Успенский, И.Н.Николотов // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ. – М., 2009. № 3. – С. 72 – 75
6. Ланецкий Б.Н. Обоснование оптимальных стратегий технического обслуживания и ремонта сложных технических систем / В.В.Лукьянчук, Д.В. Фоменко // Системы обработки информации. – 2009., выпуск 6.–С.72–75.

Сведения об авторах

ФИО	Сидоренков Н.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	lesbisnes@mail.ru
ФИО	Мартынов Б.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	lesbisnes@mail.ru

Аннотация

В статье рассмотрены принципы и цели организации стратегии системы технического обслуживания и ремонта (ТО и Р). Проведен анализ существующих систем и определена наиболее перспективная система ТО и Р.

Ключевые слова: стратегия, система, техническое обслуживание, ремонт
УДК 62-51

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.01.05

Анализ экспорта лесопродукции в РФ

Раевская Н.О, Громская Л.Я, Бойчук П.А.

Введение

Изменения, произошедшие за последние несколько лет в экономике страны, не могли не отразиться на лесопромышленном комплексе. Очевидно, что падение внутреннего платежеспособного спроса заставило производителей лесопродукции искать новые рынки сбыта, прежде всего, за рубежом.

Безусловно, экспортные отношения изменились по-разному, в зависимости от отрасли, вида продукции, рынка и других параметров. Рассмотрим основные виды лесопромышленных товаров и то, как изменился экспорт лесопродукции за последние годы. Для наглядности, в качестве сравнительной базы анализу подлежат 2017 г и 2018г.

Экспорт продукции ЛПК в 2018 г. составил 13,46 млрд долл. (в 2017 г. – 11,34 млрд.долл.), установив тем самым новый исторический максимум, значительно превосходящий прежний пик 2007 г. (11,9 млрд долл.).

Россия занимает седьмое место в мире по экспорту лесопродукции.

Производство пиломатериалов является наиболее экспортно-ориентированным сектором отечественного лесопромышленного комплекса. Участники рынка обеспокоены такой ситуацией, представители основных сфер деревообработки регулярно заявляют о нехватке качественного и доступного сырья для их производства. Системную для отрасли проблему вывоза продукции ЛПК из России на экспорт начали решать на государственном уровне, одним из первых шагов стало введение квот на вывоз фанкряжа с 1 января 2019 г. Осенью 2018 г была принята «Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года», одной из целей которой заявлено обеспечение глубокой переработки добываемой древесины на базе строительства новых и расширения существующих предприятий по переработке древесины. Другим ограничением роста экспорта пиломатериалов из России является проблема лесовосстановления.

В целях сохранения от вырубок таких видов хвойной древесины, как ель аянская, пихта белокорая и лиственница даурская, в марте 2018 года вышел приказ Минпромторга, устанавливающий квоты на вывоз данных пород древесины за рубеж.

Экспорт круглых лесоматериалов

Несмотря на увеличение пошлин, экспорт круглого леса все еще входит в число важнейших экспортных товаров лесной отрасли. Однако поставки леса продолжают падать. Так, по предварительным данным за 2018 год экспорт круглых лесоматериалов в натуральном выражении упал почти на 4% по

отношению к уровню предыдущего года. (Экспорт круглого леса в 2017 году составил 19,5 млн.куб.м., в 2018 году – 19,37 млн.куб.м.)

Уровень экспорта сырьевых ресурсов в виде круглых лесоматериалов за последние десять лет сократился почти в 2,5 раза.

По состоянию на декабрь 2018 года средние внешнеторговые цены на необработанные лесоматериалы из России составили 71,6 \$/м³. За период с начала года экспортные цены на круглый лес из России упали на 9,2%.

Круглый лес из России, после обвала цен в 2015 г., рос в цене на протяжении двух лет. В 2016 г. и в 2017 году круглые лесоматериалы из России подорожали в среднем на 5% и 9% соответственно. В 2018 году экспортные цены на отечественные круглые лесоматериалы, начиная с апреля 2018 г. начали падать, спад на конец года в сравнении с уровнем цен на конец 2017 г. превысил 9%.

Постановлением Правительства РФ от 12 декабря 2017 г. № 1520 с 1 января 2018 года введены тарифные квоты для хвойной древесины общим объемом 4 миллиона кубометров.

Основными импортёрами круглых лесоматериалов выступают Китай (9655056 т (-6%), 2018), Финляндия (4429449 т (+4,3%), 2018), Швеция (480899 т (+47,8%), 2018), Казахстан (389992 т (+60,1%), 2018).

Стратегия развития экспортного рынка круглого леса

Согласно «Стратегии развития лесного комплекса до 2030 года» предусмотрено последовательное снижение экспорта сырьевых ресурсов и ориентация на увеличение продукции глубокой переработки. Начиная с 2020 года, в течение десяти лет, вывоз делового круглого леса хвойных пород древесины за пределы России запрещен в законодательном порядке.

Экспорт пиломатериалов

Экспорт пиломатериалов в 2017 г. вырос до 29,7 млн. куб. м. В стоимостном выражении экспорт составил 3,99 млрд. долл. (+25%), превысив рекорд 2014 г. В товарной структуре экспорта 55,4% объема пришлось на сосновые пиломатериалы, 29,3% - на еловые, 9,6% – на прочие хвойные, 2,8% – на березовые, 3% – на прочие лиственные. Также увеличился экспорт специфических профилированных пиломатериалов (багет, паркетная доска и т. п.), достигший 138 тыс. т (+17,4%) на 71 млн. долл. (+25%).

Основными импортёрами пиломатериалов выступают Китай (11523 тыс. м³, 2017), Узбекистан (2058 тыс. м³, 2017), Япония (1069 тыс. м³, 2017).

С середины 2000-х гг. Россия прочно занимает второе место в мире по экспорту пиломатериалов, уступая только Канаде, разрыв с которой сокращается.

Доля России в мировом экспорте пиломатериалов составляет 10%.

Экспорт пиломатериалов в 2018 г. вырос на 7,4% до 31,9 млн. куб. м, очередной раз обновив исторический максимум. Рост фиксируется шестой год подряд. В стоимостном выражении экспорт составил 4,5 млрд. долл. (+14,2%), превысив прошлогодний абсолютный рекорд. В товарной структуре экспорта 53,1% объема пришлось на сосновые пиломатериалы, 31,6% – на еловые, 9,1% – на прочие хвойные, 3,4% – на березовые, 2,8% – на прочие лиственные.

Экспорт фанеры

В 2017 г. фанерные комбинаты столкнулись с дефицитом сырья на рынке из-за вывоза древесины. В результате в 2017 г. производство фанеры в России впервые с 2009 г. сократилось (на 2,2% по сравнению с 2016 г.).

Основными драйверами потребления фанеры являются развитие строительства и мебельного производства, что обусловлено спросом на жилье в связи с увеличением населения и его доходов, а также ростом спроса со стороны автотранспортного сегмента.

В 2017 г. экспорт фанеры вырос до 2473 тыс. куб. м. В стоимостном выражении экспорт составил 1103 млн. долл.

Экспорт фанеры в 2018 г. вырос на 8,5% до 2675 тыс. куб. м, очередной раз обновив исторический максимум. Рост фиксируется десятый год подряд (рис). В стоимостном выражении экспорт составил 1351 млн. долл. (+23%), что стало новым историческим максимумом (прежний – 1172 млн долл. в 2014 г.).

По экспорту непосредственно клееной фанеры Россия в последние годы вышла на второе место в мире (уступая только Китаю), а с учетом фанерованных плит (в нашем экспорте почти не представлены) – делит второе-третье место с Индонезией.

Основными покупателями российской фанеры выступают такие страны, как США (411 тыс. м³, 2018), Египет (309 тыс. м³, 2018), Германия (235 тыс. м³, 2018).

Рынок сбыта отечественной фанеры в страны СНГ – невелик. Основным импортером российской фанеры среди стран СНГ выступает Азербайджан.

Экспорт химической целлюлозы

Экспорт химической целлюлозы в 2017 г. составил 2,11 млн. т, что лишь на 1,5% ниже прошлогоднего исторического максимума (2,14 млн. т). При этом в стоимостном выражении экспорт вырос на 10,9% и составил 1102 млн. долл.

В 2018 г. экспорт химической целлюлозы составил 2,12 млн. т, что лишь на 1% ниже исторического максимума 2016 г. (2,14 млн. т). При этом в стоимостном выражении экспорт вырос на 37% и составил 1506 млн. долл., что стало новым историческим максимумом.

В мире Россия прочно занимает восьмое место по экспорту целлюлозы, к сожалению, значительно проигрывая конкурентам.

Экспорт древесных пеллет

Потребителей пеллет можно разделить на две основные группы: промышленные предприятия и домохозяйства, использующие пеллеты для обогрева домов. Основными факторами роста потребления пеллет является стимулирование на государственном уровне, принятие законов, касающихся использования возобновляемых источников энергии (Европа, Япония), и предоставление субсидий домохозяйствам (Европа).

Производство пеллет в России в 2017 г. составило 1,34 млн. т, при этом внутреннее потребление фактически отсутствует. Почти весь производимый объем поставляется за рубеж.

Экспорт древесных гранул в 2017 г. вырос до 1,44 млн. т. В стоимостном выражении экспорт составил 143 млн. долл.

В 2018 г. экспорт древесных гранул (пеллет) вырос на 5,2% до 1,51 млн. т, установив очередной рекорд. Рост фиксируется шестой год подряд (с момента выделения этой позиции в классификаторе, раньше считались вместе с отходами). В стоимостном выражении экспорт составил 186 млн. долл. (+31%), что стало новым максимумом.

Россия прочно входит в пятерку ведущих мировых экспортеров пеллет (Доля России в мировом рынке составляет 5%).

Основными покупателями российских пеллет выступают такие страны, как Дания (667765 т, 2018), Швеция (148624 т, 2018), Италия (146818 т, 2018).

Экспорт ДСП и ДВП

Экспорт древесно-стружечных плит в 2018 г. вырос на 14,9% до 2036 тыс. куб. м (1317 тыс. т). Рост фиксируется пятый год подряд, каждый раз экспорт обновляет исторический максимум. В стоимостном выражении экспорт составил 374 млн. долл. (+36%), улучшив прошлогодний абсолютный рекорд.

Экспорт древесно-волоконистых плит в 2018 г. вырос на 15,1% до 159,7 млн. кв. м (908 тыс. т), третий год подряд обновляя исторический максимум. Рост фиксируется седьмой год подряд. В стоимостном выражении экспорт составил 340 млн. долл. (+21%) – это тоже новый рекорд.

Экспорт бумаги и картона

Экспорт бумаги и картона в 2017 г. вырос до 3,06 млн. т. В стоимостном выражении экспорт бумаги и картона составил 1,85 млрд. долл.

В 2018 г. экспорт бумаги и картона вырос на 5,1% до 3,22 млн. т, второй год подряд значительно улучшая исторический максимум. Рост фиксируется пятый год подряд. В стоимостном выражении экспорт бумаги и картона вырос на 25,5% и составил 2,32 млрд. долл., значительно превзойдя прежний рекорд 2014 г. (1,93 млрд. долл.).

Основными покупателями бумаги и картона выступают такие страны, как Индия (499971 т (-3,3%), 2018), Китай (312514 т (+74,5%), 2018), Казахстан (235288 т (-3,7%), 2018).

Заключение

Стоит отметить, что большинство сегментов российской лесной промышленности демонстрируют значительные темпы роста в соответствии с мировыми тенденциями. На сегодняшний день, место России в мировом экспорте леса имеет лидирующие позиции по экспорту круглого леса, ее доля составляет 16 % от мирового экспорта. Также Россия входит в тройку лидеров экспорта пиломатериалов (второе место)- доля составляет 10 %. По экспорту древесных пеллетов Россия занимает пятое место, а в мировом экспорте целлюлозы находится на восьмом месте. Основным потребителем в поставках леса из России выступает Китай, его доля составляет 62 % по экспорту бревен из России, 50 % пиломатериалы.

По всем видам лесоматериалов отмечается нестабильная динамика. Если говорить о сравнительном анализе 2017 и 2018гг., то экспорт необработанных лесоматериалов имеет динамику снижения, экспорт пиломатериалов имеет динамику роста. Стоит отметить, что с 2011 по 2016 годы наблюдалось стремительное падение цен на экспорт леса. Лишь в 2017 году цены на экспорт лесоматериалов увеличился.

Библиографический список

1. Салминен Э.О., Бит Ю.А., Борозна А.А. Экспорт лесопродукции – 2-е изд., испр. и доп. – СПб. : Издательство Профи, 2008 г. – 712 с.
2. Федеральная таможенная служба: [сайт]. – URL: <http://customs.ru> // (дата обращения: 03.02.2020).
3. Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций: [сайт]. – URL: <http://www.fao.org/statistics/ru> // (дата обращения: 03.02.2020).
4. Российский экспортный центр: [сайт]. – URL: <https://www.exportcenter.ru/> (дата обращения: 03.02.2020).

Сведения об авторах

ФИО	Раевская Н.О.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	ninulkaray@gmail.com

ФИО Громская Л.Я.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9636-3982
e-mail gromskaya.stl@gmail.com

ФИО Бойчук П.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail 89112284649@mail.ru

Аннотация

Настоящая статья посвящена исследованию состояния и структуры экспорта лесной древесной продукции за 2017 и 2018 гг. В статье проведен углубленный анализ структуры экспорта по видам древесной продукции и по странам, в которые она вывозится. Установлены основные страны – покупатели круглого леса, пиломатериалов, фанеры, пеллет, целлюлозы, бумаги и картона. Главным покупателем российского леса назван Китай.

Ключевые слова: экспорт, лес, лесопродукция, древесина, пиломатериалы, целлюлоза, фанера.

УДК 339.564:630*722

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.01, 68.47.29, 72.15.33

Состояние вопроса по выбору и размещению предприятий ремонтно-обслуживающей базы

Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Ишниязов А.

Введение

Условия эксплуатации лесозаготовительных машин, в отличие от машин другой направленности сложны и многообразны. В связи с этим, на систему технического обслуживания и ремонта возлагаются особые задачи для поддержания лесозаготовительной техники в работоспособном состоянии.

Цель и задачи

Оптимизация выбора и размещения предприятий ремонтно-обслуживающей базы (РОБ) с учетом количественного и качественного состава лесных машин.

Методология исследований

Рациональной организацией ремонта и технического обслуживания считается такая, при которой обеспечиваются минимальные простои машин и оборудования по техническим причинам при номинальных затратах труда, материалов и запасных частей.

В лесной промышленности в состав ремонтно-обслуживающей базы предприятий и объединений входят:

- передвижной пункт технического обслуживания на мастерских и вахтовых участках (ППТО);
- гаражи, депо;
- пункты централизованного технического обслуживания (ПЦТО);
- технические обменные пункты (ТОП);
- передвижные средства выездных ремонтных бригад;
- ремонтно-механические мастерские (РММ);
- ремонтно-механические заводы (РМЗ).

Назначение и состав каждого объекта базы и организация работ на этих предприятиях подробно изложено в положении о техническом обслуживании и ремонте лесозаготовительного оборудования, разработанного ЦНИИМЭ. Основное назначение предприятий ремонтно-обслуживающей базы является обеспечение и выполнение всех видов ремонтов и технических обслуживаний с целью поддержания машин и оборудования в ремонтоспособном состоянии.

Обобщая, все виды предприятий ремонтно-обслуживающей базы можно представить следующими типами:

- предприятия по техническому обслуживанию машин и оборудования (ППТО, ПЦТО, СТО);
- предприятия по ремонту машин (депо, РММ, РМЗ);
- предприятия для хранения и стоянки машин (гаражи, зоны стоянки, ТОП).

Правильное размещение предприятий и программа работ оказывает большое влияние на себестоимость ремонта и технического обслуживания, величину капитальных вложений и транспортные расходы по перевозке машин для выполнения соответствующих технических воздействий. Поэтому при определении оптимальной программы, размещения предприятия должен решаться целый комплекс вопросов: полное обеспечение леспромхозов на ремонт и техническое обслуживание; состояние транспортных путей; эффективность организации и кооперирование и пути достижения предприятиями более эффективных технико-экономических показателей.

Определение оптимальных программ размещения предприятий ремонтно-обслуживающей базы может осуществляться методами линейного

программирования. В качестве критерия оптимальности используется величина приведенных затрат P на единицу продукции:

$$P = C_p + EK + C_t \quad (1)$$

где C_p – себестоимость единицы ремонта или технического обслуживания единицы продукции;

E – нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений;

K – удельные капитальные вложения (расходы на проектирование строительства предприятия, приобретение и монтаж оборудования и др., приходящиеся на единицу продукции);

C_t – транспортные расходы по перевозке машин для ремонта или оборудования.

Метод линейного программирования, заключается в том, что производственные связи выражаются системой линейных уравнений и формированием целевой функции в форме минимума и максимума суммы произведений независимых переменных X_{ij} на постоянные коэффициенты.

Задача линейного программирования в общем виде можно записать системой линейных уравнений с n неизвестными X_1, X_2, \dots, X_n

$$a_1 X_1 + \dots + a_n X_n = B_1$$

$$a_2 X_2 + \dots + a_{2n} X_{2n} = B_2$$

$$a_{m1} X_n + \dots + a_{mn} X_n = B$$

и линейной формулой (целевой функцией) всей системы уравнений

$$F = C_1 X_1 + \dots + C_n X_n$$

Здесь коэффициенты a, b, c известны

$$X_1, \dots, X_n \geq 0.$$

Система уравнений выражает связь между переменными и ограничениями, характеризующими задачу, границы значений независимых переменных и целевую функцию. Задача заключается в нахождении минимального (максимального) значения целевой функции среди всех неотрицательных решений системы.

В леспромхозах имеется большое количество разномарочной техники, поэтому определение оптимальной программы и размещения предприятия является довольно сложной задачей. В этом случае задача требует проведения сложных громоздких расчетов и носит название многокомплектной.

При проектировании специализированных предприятий по ремонту одной марки машин вопрос значительно упрощается и сводится к решению однокомплексной производственно статической задачи с дискретными переменными в матричной постановке. Критерием оптимальности другого способа определения программы ремонтно-обслуживающего предприятия является минимум суммарных затрат: себестоимости ремонта и технического обслуживания, удельных капитальных вложений и транспортных расходов.

Оптимальную программу можно определить по следующей зависимости, предложенной И.С.Левитским:

$$N_{\text{пр}} = \gamma_M R_c^2 \quad (2)$$

γ_M

где γ_M – плотность машин, подлежащих ремонту или техническому обслуживанию, ед/км;

R_c – среднее оптимальное расстояние перевозки, км; и определяется по зависимости:

$$R_c = \sqrt[10]{\frac{C_p \eta_n}{\gamma_M}} \quad (3)$$

где C_p – себестоимость ремонта или обслуживания объекта (машины, агрегаты), приходящаяся на 1т его массы, руб/т; ($C_p = C/Q$);

C – затраты на оплату труда рабочих за ремонт или обслуживание одного объекта, руб.;

Q – масса объекта, т;

η_n –

коэффициент, учитывающий косвенные расходы

$$\eta_n = 1 + \frac{H}{100} \quad (4)$$

где H – косвенные расходы предприятия в % от заработной платы производственных рабочих.

γ_M

Плотность размещения ремонтного фонда γ_M определяется по зависимости:

$$\gamma_M = \frac{7N_p}{F} \quad (5)$$

где N_p – ремонтный фонд, то есть расчетное количество ремонтов и обслуживаний данной марки машины;

F – площадь территории размещения ремонтного фонда, км²;

7 – числовой коэффициент, характеризующий площадь территории круга радиусом перевозок $R_c = 1$ км.

Транспортные расходы определяются, исходя из выбора пункта рационального размещения предприятия с учетом вида транспорта и кратчайшего расстояния перевозок. Ориентировочно транспортные расходы можно определить по выражению:

$$C_m = 0,13R_c \quad (6)$$

где R_c – среднее оптимальное расстояние перевозок, для новых предприятий определяется по приведенной ранее формуле, а для действующих по формуле:

$$R_c^1 = \sqrt[n]{\frac{F}{7}} \quad (7)$$

где n – коэффициент равный, отношению суммы расстояний до ремонтно-обслуживающих предприятий по существующим дорогам к сумме расстояния по прямой. Рассчитанный вариант оптимальной программы должен удовлетворять минимуму приведенных затрат. Имеются другие методы определения оптимальной программы предприятий по ремонту и обслуживанию машин [1,3,6].

Для определения пункта размещения предприятия на карте района, помещенной в прямоугольные координаты (рис. 1) наносятся точки (пункты) нахождения и концентрации объектов ремонта и технического обслуживания.

По одному из изложенных ранее методов определяют потребность в ремонте и техническом обслуживании машин и агрегатов [7,9].

Спроектировав точки (пункты) расположения объектов ремонта и технического обслуживания на оси координат, находят значение абсцисс X_1, X_2, \dots, X_n и ординаты Y_1, Y_2, \dots, Y_n . Для нахождения пункта, к которому тяготеют расположенные на территории района объекты ремонта и технического обслуживания, необходимо определить средневзвешенные значения абсцисс X_p и ординаты Y_p , что легко сделать, зная массу машин (агрегатов) и значение абсцисс X_1, X_2, \dots, X_n и ординат Y_1, Y_2, \dots, Y_n , по зависимости:

$$X_p = \frac{X_1 Q_1 + X_2 Q_2 + \dots + X_n Q_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n} \quad (8)$$

$$Y_p = \frac{Y_1 Q_1 + Y_2 Q_2 + \dots + Y_n Q_n}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n} \quad (9)$$

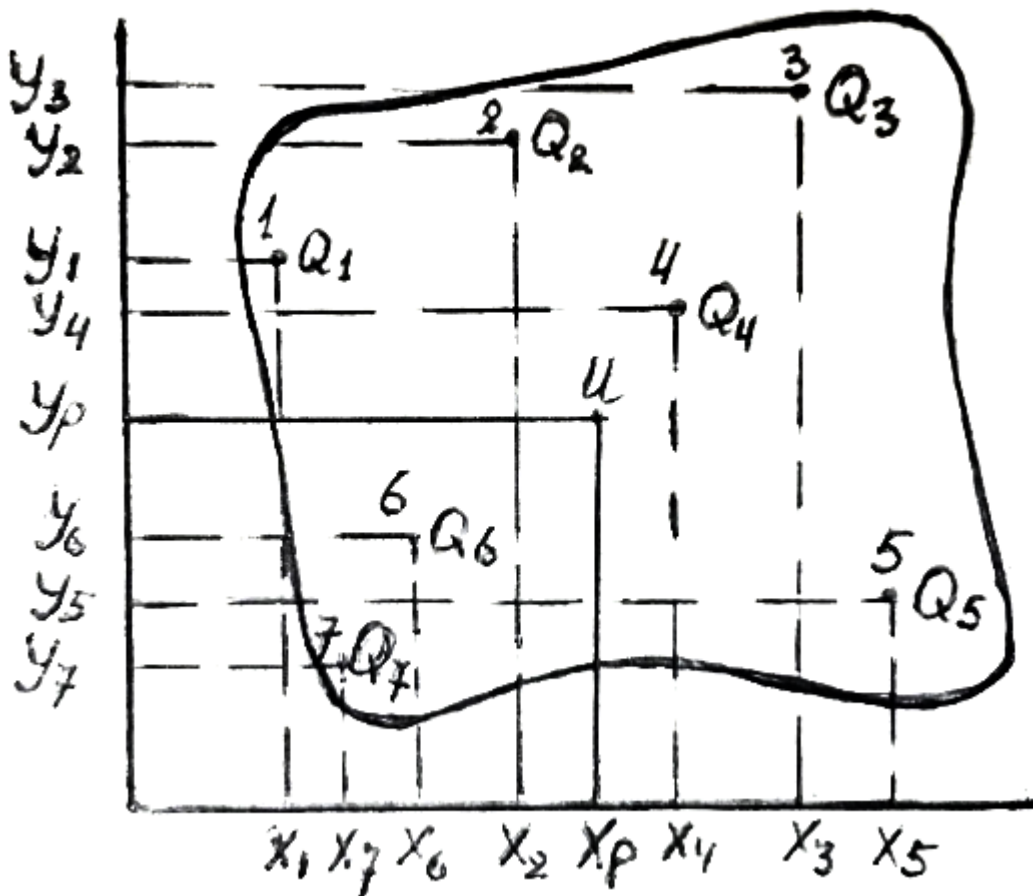


Рис. 1. Схема определения рационального размещения ремонтных предприятий

Точка пересечения координат X_p и Y_p будет точкой расположения ремонтно-обслуживающего предприятия. Однако может оказаться, что найденная точка не отвечает условиям обеспечения предприятия электроэнергией, топливом, водой, трудовыми ресурсами т.д. В этом случае точку строительства предприятия переносят в ближайшие два три пункта, удовлетворяющие указанным выше условиям и ведут расчет стоимости перевозок или затрат на транспортные работы [10].

Минимальная стоимость перевозок или затрат на транспортные работы и являются критерием оптимального размещения предприятия в данном месте.

В лесной промышленности строительство новых баз ремонтно-технического обслуживания последнее время практически не осуществляется по ряду объективных причин. В основном строительство возможно только в районах Сибири и Дальнего Востока. По этой причине особое внимание

уделяется реконструкции уже существующих объектов ремонтно-обслуживающей базы [4].

В положении о техническом обслуживании и ремонте лесозаготовительного оборудования взят курс на улучшение системы технического обслуживания и ремонта с целью снижения процессов изнашивания машин и оборудования, и тем самым уменьшить текущие затраты на устранение отказов и выполнения текущих ремонтов [2].

Заключение и выводы.

1. Учитывая тенденцию развития направления системы технического обслуживания и ремонта необходимо отметить, что в положении происходит дублирование технологического оборудования, состава участков ПЦТО и ремонтно-механических мастерских леспромхозов, что существенно снижает насыщенность работ технического обслуживания и ремонта.

2. Централизованные пункты технического обслуживания (ПЦТО) предназначены для технического обслуживания и для выполнения сопутствующего ремонта агрегатным методом, поэтому в ПЦТО нет необходимости иметь такой состав станочного парка и другого оборудования, которое изложено в положении. Кроме того, ПЦТО строят на лесопунктах для выполнения технического обслуживания с ограниченным количеством машин и оборудования.

3. Новые ремонтно-механические мастерские (РММ) должны сооружаться в центре примыкания лесовозных дорог лесопунктов. Состав оборудования и станочного парка зависит от объема заготовки древесины леспромхозами (или частными арендаторами) и должен соответствовать таблице, изложенному в положении ЦНИИМЭ [2,3]. РММ предназначены для выполнения текущих ремонтов, и устранению отказов машин и оборудования, их узлов и агрегатов. Также выполнению капитальных ремонтов несложных механизмов нижнего склада, а также выполнению заказов сторонних организаций.

Библиографический список

1. В.Б. Прохоров. Эксплуатация машин в лесозаготовительной промышленности. М.: Лесная промышленность, 1978 – 303с.
2. Г.А. Чернышев. Проектирование производственных участков ремонтных предприятий. Расчёты и нормативы. Метод. ук. С-Пб: ЛТА, 1993 – 49с.
3. В.П. Копчиков, А.С. Минков, С.А. Жукова и др. Положение о техническом обслуживании и ремонте машин и оборудования лесозаготовительной промышленности. Химки.: ЦНИИМЭ, 1990-361 с.
4. В.П. Копчиков, А.С. Минков, С.А. Жукова и др. Организация и управление производством технического обслуживания и текущего ремонта машин и оборудования на объектах РОБ с учетом их перспективной структуры. Химки : ЦНИИМЭ, 1989-145 с.

5. Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. Характеристика отказов лесопосадочных машин // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
6. Парфенопуло Г.К, Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С, Черных Л.Г. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
7. Пушков Ю.Л., Андронов А.В. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
8. Parkhomenko G.G., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Rzhavtsev A.A., Reducing the negative impact of undercarriage systems and agricultural machinery parts on soils // IOP Conference series: Earth and environmental science: Earth and Environmental Science. 4th Scientific-Technical Conference on Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education 2019 – Великобритания: Institute of Physics Publishi №315, 2019 – P. 012049

Сведения об авторах

ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru

ФИО	Ишниязов А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	mmu49@mail.ru

Аннотация

Предложена методика оптимизации выбора и расположения предприятий ремонтно-обслуживающей базы с учетом количественного и качественного состава лесозаготовительной техники и оборудования лесопромышленной отрасли.

Ключевые слова: ремонтно-обслуживающая база, техническое обслуживание, ремонт.

УДК62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Выявление значимых факторов в модели прироста древостоя

Новикова М.А., Шифрин Б.М., Елисеев И.В., Нагорнов О.В.

Введение

Среди факторов, определяющих возобновительные процессы под пологом леса, находятся орографические, климатические и почвенные условия; наряду с ними большое значение имеют биотические факторы: растительность разных ярусов, микро- и микофлора, животные [3]. На базе изучения влияния факторов на прирост и возобновление леса были разработаны такие модели как EFIMOD, ROMUL и SCLISS. Система моделей лесных экосистем EFIMOD [2, 5] является индивидуально-ориентированной. Она предназначена для моделирования биологических круговоротов элементов в лесных экосистемах таежной зоны и смешанных лесов. Система моделей рассчитывает параметры баланса углерода и азота и таксационные характеристики древостоев. Система моделей включает в себя модель динамики органического вещества почвы ROMUL, которая учитывает химические свойства опада, температуру и влажность подстилки и минеральной почвы, и имитатор почвенного климата SCLISS [1], предназначенный для генерации почвенно-климатических характеристик.

Цели и задачи

Целью работы является разработка прогнозной модели прироста древостоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). Работа выполняется в рамках проекта

«Разработка прогнозной модели смешанных древостоев ели (*Picea abies* L.) и сосны (*Pinus sylvestris* L.) на Северо-Западе РФ».

Объектом моделирования являются смешанные древостои ели и сосны.

Основная задача: выявление основных факторов, влияющих на прирост древостоя.

Факторы, влияющие на прирост древесины, можно условно разделить на 5 групп:

1. Климатические:
 - осадки (мм);
 - ветер (м/с);
 - освещение (Лк);
 - температура (°С);
2. Антропогенные;
3. Биологические (животные, грибы, насекомые);
4. Рельеф;
5. Почвенные условия:
 - Гранулометрический состав
 - Содержание гумуса
 - влажность почвы;
 - температура почвы.

В отдельную группу можно отнести характеристику древостоя:

- состав насаждения;
- возраст насаждения
- средний диаметр,
- средняя высота,
- абсолютная или относительная полнота,
- густота древостоя.

Эти 6 групп факторов можно разбить на 3 группы по влиянию на прирост древесины (рис. 1):

1. Динамические факторы: климатические, возраст насаждения, состав насаждения, полнота насаждения;
2. Статические факторы: почвенные условия, рельеф;
3. Факторы неопределенности: биологические, антропогенные факторы.

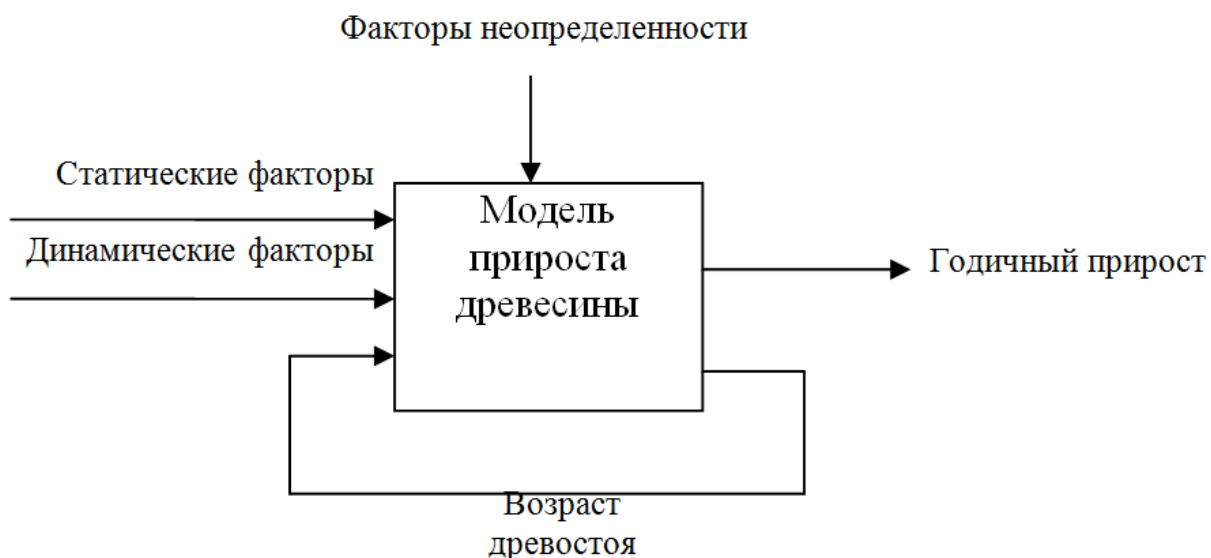


Рис 1. Модель прироста древесины

В таблице 1 представлены факторы, влияющие на лесные экосистемы в разных возрастных категориях.

Таблица 1.

Факторы, влияющие на лесные экосистемы в разные периоды

возраст	климатические	биотические	почвенное плодородие	рельеф	состав насаждения	полнота	антропогенные
0-20	+	+	+	+	+	+	
21-40	+	+	+		+	+	+
41-60	+	+	+		+	+	+
61-80	+	+	+				+
81-100	+	+					+
101-120	+	+					+
121-140	+	+					+
141-160	+	+					+
161-180	+	+					+
181-200	+	+					+

Из табл. 1 видно, что наибольшее влияние на древостой оказывают климатические, биотические, антропогенные факторы и почвенное плодородие. Существенное влияние на древостой на этапе формирования оказывает рельеф, но с течением времени он перестает оказывать влияние.

Аналогами моделей природных систем являются EFIMOD, ROMUL, SCLISS. Модели ROMUL и SCLISS являются составной частью системы моделей динамики лесных экосистем EFIMOD [5].

Рассмотрим подробнее эти модели.

SCLISS – модель почвенного климата, разработана для работы в сочетании с моделью ROMUL [5].

Модель SCLISS учитывает:

- Среднемесячные температуры воздуха;

- Количество осадков в месяц;
- Среднемесячную температуру почвы;
- Среднемесячную влажность почвы.
- Выходными параметрами модели SCLISS являются:
- Водно-физические параметры почвы;
- Гранулометрический состав почвы;
- Объемная плотность почвы;
- Содержание органического вещества почвы.

ROMUL – модель динамики органического вещества лесных почв [7]. В данной модели учитываются:

- Химический состав опада, в основном азот и зольность;
- Минерализацию и гумификацию опада;
- Формирование и функционирование грубого гумуса;
- Последовательная смена организмов-деструкторов;
- Биомасса почвенных организмов;
- Активность организмов-разлагателей;
- Органические остатки, т.е. напочвенный опад и внутрпочвенный опад.

Выходными параметрами модели ROMUL являются:

- минерализованный гумус;
- азот;
- углерод.

EFIMOD – модель лесной экосистемы, включающей в себя модели ROMUL и SCLISS, представляет собой модель биологического круговорота [4, 6].

Входные параметры модели:

- Распределение выделов по типам леса (типам лесорастительных условий) для преобладающей породы;
- Распределение по классам бонитета;
- Распределение по возрастной структуре;
- Почвенные условия.

Результатом модели EFIMOD является круговорот азота и углерода, однако не учитывается влияние ветра, животных, грибов и насекомых на прирост древесины, а освещенность учитывается лишь косвенно.

Заключение

Целью дальнейших исследований будет усовершенствование модели EFIMOD, которая, несмотря на учет достаточно большого количества факторов, не позволяет использовать в полной мере имеющиеся результаты статистических наблюдений за прошлые годы.

Библиографический список

1. Быховец С.С., Комаров А.С. Простой статистический имитатор климата почвы с месячным шагом / Почвоведение, 2002. - №4. – С. 443-452.
2. Кудеяров В.Н. Моделирование динамики органического вещества в лесных экосистемах / Ин-т. физ.-хим. и биолог. проблем почвоведения РАН. – М.: Наука, 2007. – 380 с.
3. Новикова М.А. Особенности естественного возобновления березы в условиях Ленинградской и Тверской областей / 06.03.03. Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация / канд. диссертации с\х наук - Новикова Мария Александровна. – 158 с.
4. Чертов О.Г., Грязькин А.В., Комаров А.С., Смирнов А.П. и др. Динамическое моделирование в лесном хозяйстве / СПб.: СПбГЛТА, 2011. – 64 с.
5. Chertov O., Komarov A., Kolström M. et al. Modelling the long-term dynamics of populations and communities of trees in boreal forests based on competition on light and nitrogen // Forest Ecol. And Manag. 2003. Vol.176 P. 355-369.
6. Komarov A., Chertov O., Zudin S. et al. EFIMOD 2 – the system of simulation models of forest growth and elements cycles in forest ecosystems // Ecol. Modelling. 2003. Vol.170. P. 373-392.
7. Чертов О.Г. Имитационная модель минерализации и гумификации лесного опада и подстилки / Журн. общей биологии. 1985 г. т. 46, №6 с. 794-804.

Сведения об авторах

ФИО	Новикова М.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2276-0322
e-mail	masch-novikova@yandex.ru
ФИО	Шифрин Б.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5125-4307
e-mail	shifrinb@mail.ru
ФИО	Елисеев И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4541-3386

e-mail	yeliseyef@yandex.ru
ФИО	Нагорнов О.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	nagornovoleg@bk.ru

Аннотация

На базе изучения влияния факторов на прирост и возобновление леса были разработаны такие модели как EFIMOD, ROMUL и SCLISS. Модели ROMUL и SCLISS являются составной частью системы моделей динамики лесных экосистем EFIMOD. Результатом модели EFIMOD является круговорот азота и углерода, однако не учитывается влияние ветра, животных, грибов и насекомых на прирост древесины, а освещенность учитывается лишь косвенно. Целью дальнейших исследований будет усовершенствование модели EFIMOD, которая, несмотря на учет достаточно большого количества факторов, не позволяет использовать в полной мере имеющиеся результаты статистических наблюдений за прошлые годы.

Ключевые слова: Ель европейская, Сосна обыкновенная, прирост, математическое моделирование, EFIMOD, ROMUL, SCLISS.

УДК 630*5

Разделы рубрикатора ГРНТИ 68.01.77

2. ЛЕСОСЕЧНЫЕ РАБОТЫ

Исследование эффективности использования малогабаритного форвардера

Рожков Н.А., Захаров В.А., Козьмин С. Ф., Михайлов О. А., Тарадин Г. С.

Введение

В своё время на кафедре Проектирования специальных лесных машин (ПСЛМ) Лесотехнической академии им С.М. Кирова был накоплен огромный опыт по созданию лесохозяйственных колёсных тракторов с шарнирно-сочлененной рамой [1,2,3].

Эти опытные и макетные образцы разрабатывались на базе сельскохозяйственных тракторов Минского, Липецкого и Владимирского тракторных заводов (МТЗ, ЛТЗ, ВТЗ). Это позволило наладить серийное производство лесохозяйственных тракторов в г. Силава (Латвия). Разработки кафедры ПСЛМ пригодились при организации производства тракторов ЛКТ в Чехословакии. Лесосечные машины ЛКТ в различных комплектующих технологического оборудования успешно выпускаются и сейчас в Словацкой Республике. Работают Словацкие ЛКТ успешно и у нас в РФ. За это время и другие западные партнеры, используя наши разработки, ушли вперед, а мы остались на уровне опытных и макетных образцов.

В этой работе мы хотим на примере форвардера Т-25АЛ, созданного на кафедре ПСЛМ на базе узлов трактора Т-25 ВТЗ, обосновать эффективность использования таких машин.

На рис. 1 показан общий вид форвардера Т-25АЛ класса тяги 6кН с шарнирно-сочлененной рамой с большой унификацией узлов и агрегатов серийного трактора Т-25 ВТЗ.

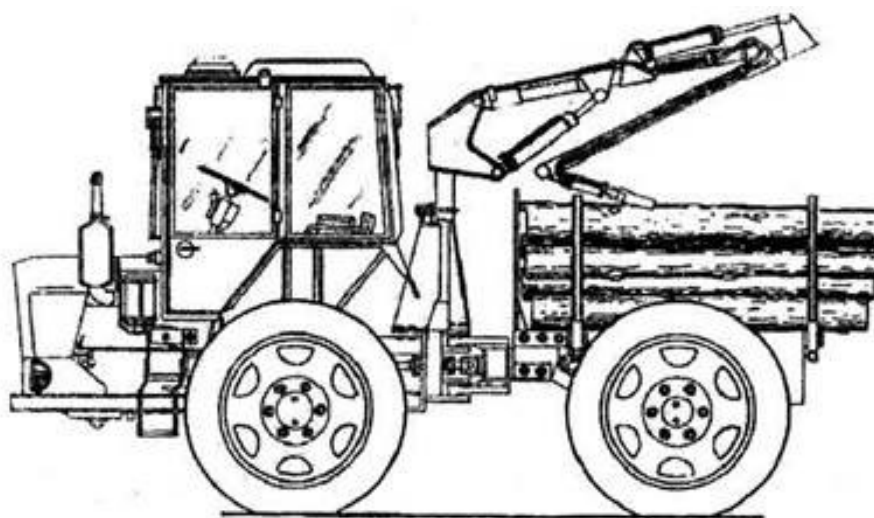


Рис. 1. Форвардер Т-25АЛ

На тракторе установлен манипулятор с захватом и стойки для размещения двухметровых сортиментов. Трактор предназначен для вывозки сортиментов из-под полога леса после рубок ухода, а также может работать в паре с “большим” форвардером и вывозить баланс и дрова, тем самым повышая эффективность использования основного форвардера, который будет задействован только на вывозке шестиметровых сортиментов.

Приведем некоторые технические характеристики форварда Т-25АЛ. Двигатель Д-2101, скорость движения 1,52-23,85 км/ч, колесная формула 4х4, объём пачки до 1,5 м³, расстояние вывозки до 400 м.

Проведем сравнительный анализ сменной производительности трех вариантов вывозки сортиментов из-под полога леса на рубках ухода. В первом случае вывозка осуществляется обычным серийным трактором Т-25 с прицепом, во втором форвардером Т-25АЛ и в третьем тем же Т-25АЛ, но с двухскатной ошиновкой на переднем и заднем мостах, т.е. трактор повышенной проходимости.

Во всех трех случаях сменная производительность определяется по известным выражениям:

$$P_{см} = \frac{T_{см} - (t_{под} - t_{отд})}{t_{р.х.} + t_{х.х.} + t_{неп} + t_{и}} Q, \quad (1)$$

где $T_{см}$ – время непосредственной работы трактора на вывозке сортиментов определяется как:

$$T_{см} = 60 \times t_{см} \times K_{т.г.} \times K_p \times K_{пр}, \quad (2)$$

где $t_{см}$ – продолжительность смены (8 час), $K_{т.г.}$ – коэффициент технической готовности ($K_{т.г.} = 0,9$), K_p – коэффициент, учитывающий рельеф местности (уклоны на подъем), ($K_p = 0,95$), $K_{пр}$ – коэффициент, учитывающий проходимость и сцепные свойства ходовой части ($\varphi_{сц}$) ($K_{пр} = 0,45 - 0,75$ в зависимости от конструкции ходовой части трактора).

Данные по значениям $K_{пр}$ получены на основании многолетних производственных испытаний, проведенных кафедрой Проектирования специальных лесных машин на колёсных тракторах с шарнирной рамой класса тяги 6кН, 9кН, 14кН и 30кН при работе на рубках ухода.

$t_{под}$ – норматив времени на подготовительные работы по обслуживанию рабочего места, мин ($t_{под} = 32$ мин.);

$t_{отд}$ – норматив времени на отдых и личные надобности рабочих, мин ($t_{отд} = 28$ мин.);

$t_{р.х.}$ – время движения трактора с грузом до места разгрузки, мин;

$t_{х.х.}$ – время движения трактора без груза до места загрузки, мин.

Проведенные расчеты по формулам (1) и (2) дали следующие результаты. При использовании сельскохозяйственного трактора с прицепом сменная производительность составила $8,2 \text{ м}^3/\text{см}$, во втором случае $P_{\text{см}}=13,6 \text{ м}^3/\text{см}$ и при двухскатной ошиновке $P_{\text{см}}$ Т-25АЛ возросла до $16,2 \text{ м}^3/\text{см}$ в смену.

Заключение

Исследования показали, что использование тракторов форвардеров с шарнирно-сочлененной рамой на вывозке сортиментов на рубках ухода позволяет повысить сменную производительность на 60-70% по сравнению с серийным Т-25 с прицепом. Эффективность повышается если используется на Т-25АЛ двухскатная ошиновка. Это особенно ощутимо при работе на грунтах с низкой несущей способностью [4].

Компоновка трактора Т-25АЛ позволяет комплектовать машину разным технологическим оборудованием. Это может быть и тросо-чокерное оборудование (погрузочный щит и лебедка), манипулятор и кониковый захват для бесчокерной трелевки, форвардер (как в рассматриваемом варианте) и манипулятор с захватно-срезающей головкой или харвестерной.

Также технологические возможности компоновок позволяют существенно увеличить коэффициент использования тракторов в течение года и при различных технологических процессах

Библиографический список

1. Александров В.А., Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В. Механизация лесохозяйственных работ. Машины и механизмы: Текст лекций. СПб.: СПб ГЛТА, 2004.-132 с.
2. Козьмин С.Ф. Механизация лесного хозяйства и садово-паркового строительства. Машины и механизмы: справочник /С.Ф. Козьмин.-СПб.: СПб ГЛТА, 2006.-408с.
3. Козьмин С.Ф. Машины и механизмы в ландшафтном строительстве: методические указания: методические указания / С.Ф Козьмин.-СПб.: СПб ГЛТУ, 2016.-136 с.
4. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелёвочных тракторов и снижение энергоёмкости трелёвки путём увеличения приспособляемости дизеля.// Диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук, Л.: ЛТА, 1986.-198с.

Сведения об авторах

ФИО	Рожков Н.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	ankey47@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	отсутствует
e-mail	Vovaz19982@gmail.ru
ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru

Аннотация

Приведены материалы по применению малогабаритного колёсного трактора с шарнирной рамой класса тяги 6 кН для вывозки сортиментов от рубок ухода. Рассмотрены возможные технологические схемы применения предлагаемой лесной модификации трактора с колёсной формулой 2x4, 4x4 (четыре колеса) и 4x4 с двухскатной ошиновкой. Проведен расчёт сменной производительности трех вариантов машин.

Ключевые слова: колёсный трактор, рубки ухода, испытания, технологическое оборудование, сменная производительность, колесная формула, сдвоенная ошиновка, манипулятор.

УДК 631.3-1/-9

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.42.03; 55.57.29; 68.01.77; 68.29.15.

Малогабаритные колесные тракторы для рубок ухода

Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С.

Введение.

Рубки ухода за лесом являются одной из важнейших проблем в лесном хозяйстве. Основная цель рубок ухода – формирование древостоя, который к моменту главных рубок образует максимальный запас высококачественной древесины.

В настоящее время в лесном хозяйстве на трелевке леса от рубок ухода применяют серийные сельскохозяйственные колесные тракторы с оригинальным технологическим оборудованием (рис.1). Эти тракторы не удовлетворяют лесное хозяйство из-за недостаточной проходимости, маневренности, невозможности размещения современного технологического оборудования и крайне ограниченной грузоподъемности.

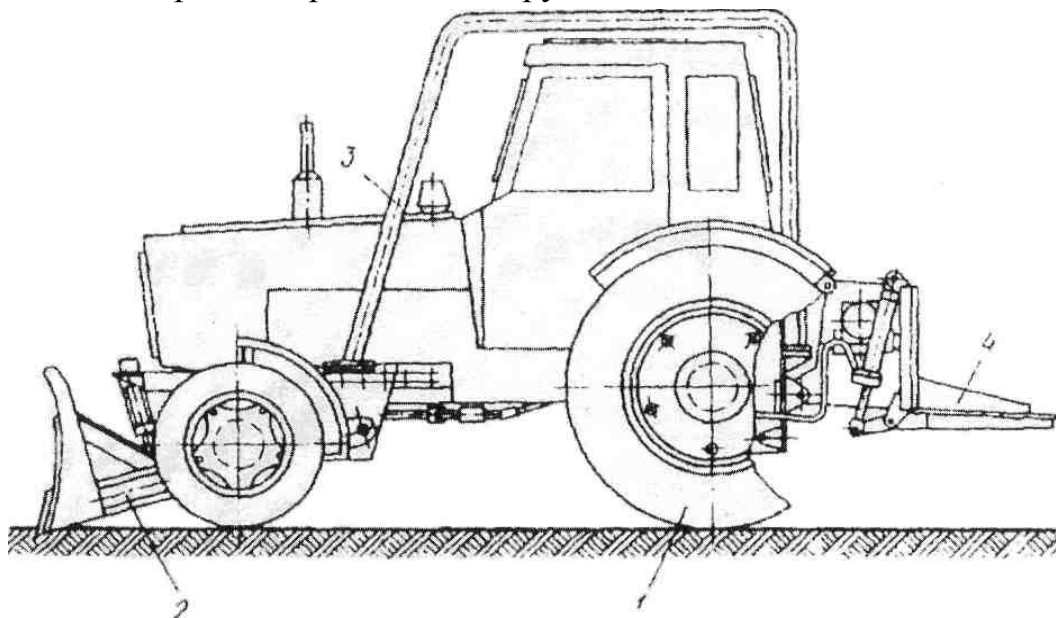


Рис. 1. Трактор Т-25А с серийным трелевочным оборудованием ЛТН-1:
1 – двигатель; 2 – отвал; 3 – ограждение кабины; 4 – лебедка и щит

Таблица 1.

Техническая характеристика трелевочной транспортной системы на базе серийного трактора Т-25А

Габаритные размеры с трактором Т-25А, м:	длина	4,55
	ширина	1,97
	высота	2,29
Тип лебедки	однобарабанная	
Тяговое усилие на тросе барабана, кН	20	
Канатоемкость барабана, м	45	

Диаметр каната, мм	11-13
Скорость наматывания каната, м/с	0,80
Ширина отвала, м	1,6
Объем трелюемой пачки, м ³	0,7
Масса, кг	2200

В связи с этим, на кафедре Проектирования специальных лесных машин Лесотехнической академии им.С.М. Кирова в содружестве с Владимирским тракторным заводом был создан специальный лесной колесный трактор с шарнирной рамой Т-25АЛ (рис. 2). За базовый трактор были принят серийный сельскохозяйственный колесный трактор Т-25А [1,2].

Смысл создания специального лесного колесного трактора состоит в агрегатировании одноосного модуля серийного сельскохозяйственного колесного трактора с, так называемым, активным полуприцепом. В результате получается высокопроходимое транспортное средство – трактор Т-25АЛ с площадкой за кабиной, позволяющей размещать различное технологическое оборудование. Колесная формула трактора Т-25АЛ 4х4.

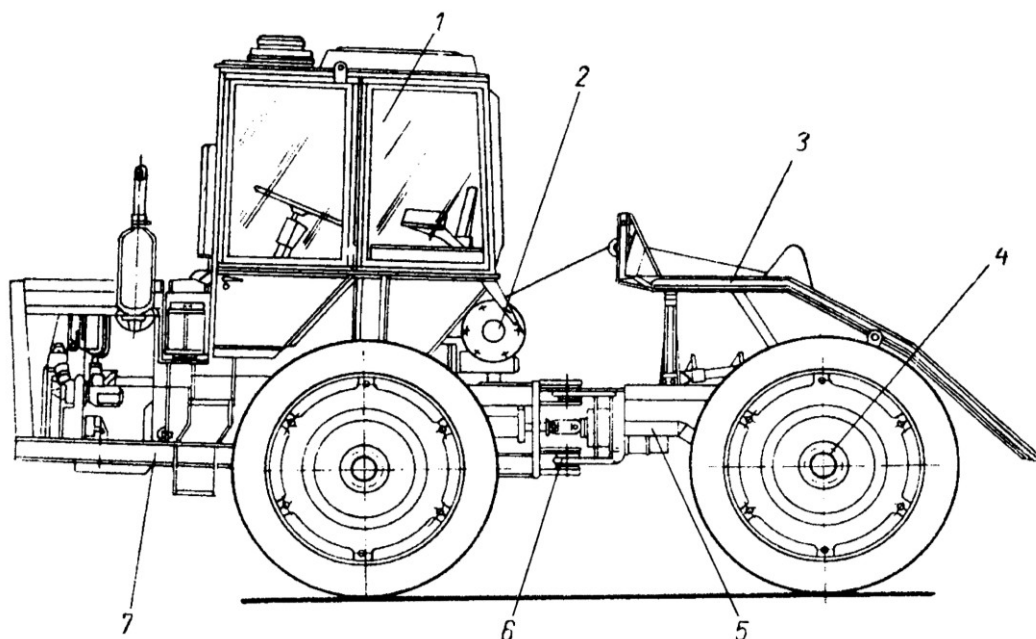


Рис. 2. Трактор Т-25АЛ. Общий вид.

1 – кабина; 2 – лебедка; 3 – погрузочный щит; 4 – задний ведущий мост;
5 – задняя полурама; 6 – шарнир; 7 – передняя полурама

Таблица 1.

Техническая характеристика трелевочной транспортной системы на базе серийного трактора Т-25А

Двигатель	Д-2101
Мощность двигателя, кВт	25

Удельный расход топлива двигателя, г/кВт·ч	245
База, м	2,18
Колея, м	1,50...1,90
Дорожный просвет, м, при давлении в шинах 0,1 МПа	0,52
Масса, кг	3100
Скорость движения, м/с	1,40...6,05
Радиус поворота по внешнему следу колес, мм	3650
Колесная формула	4x4
Давление воздуха в шинах, МПа	0,10
Объем трелеваемой пачки хлыстов, м ³	1,5

Трактор Т-25АЛ обладает небольшими габаритами, маневренностью, повышенной проходимостью и достаточно высокой грузоподъемностью.

При работе под пологом леса трактор Т-25АЛ не создает колею, не наносит вреда корневой системе деревьев, а шарнирная рама позволяет проезжать между отдельно растущими деревьями, не повреждая их.

В настоящее время изготовлено в металле десять лесных модификаций тракторов Т-25АЛ с различным технологическим оборудованием для рубок ухода (рис. 3, рис. 4, рис. 5), которые успешно прошли испытания в производственных условиях [3,4].

Для дальнейшего совершенствования машин предлагаются конструкторские разработки кафедры тракторов с различным технологическим оборудованием (рис. 6, рис. 7, рис. 8).



Рис. 3. Трелевка леса. Кингисеппский лесхоз



Рис. 4. Экспериментальный образец для погрузки круглой тары



Рис. 5. Трактор Т-25АЛ с оборудованием для коммунального хозяйства

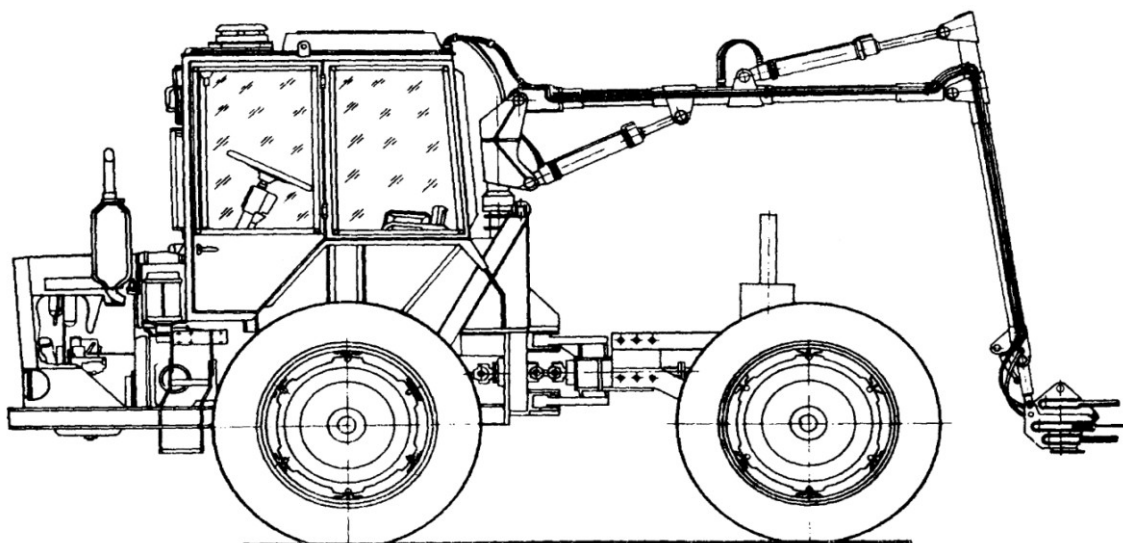


Рис. 6. Трактор Т-25АЛ с манипулятором и валочно-срезающей головкой

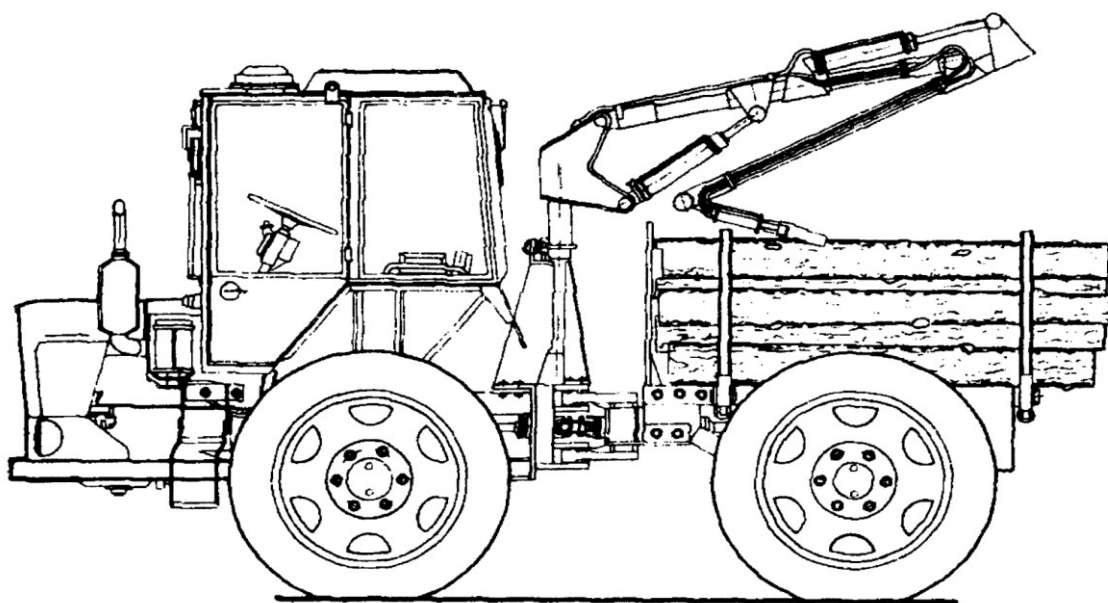


Рис. 7. Трактор Т-25АЛ для вывозки сортиментов

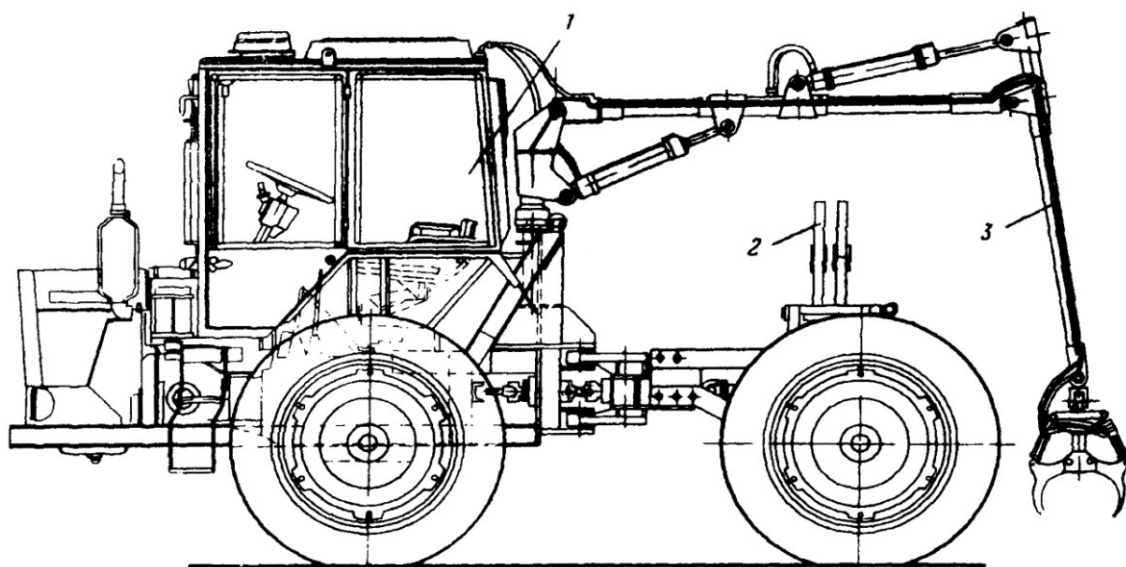


Рис. 8. Трактор Т-25АЛ

с манипулятором и зажимным коником для трелевки хлыстов:

1 – кабина; 2 – коник; 3 – манипулятор с захватом для хлыстов

В результате испытаний в производственных условиях на трелевке леса от рубок ухода, проведенных в Лисинском лесхозе были получены следующие значения сменной производительности $\Pi_{см}$ ($м^3/см$) по вариантам:

- для серийного трактора Т-25А составила $19,2 м^3/см$;
- для проектируемого трактора Т-25АЛ составила $28,8 м^3/см$.

Таким образом, инвестиционный вариант – трелевочный трактор Т-25АЛ, более эффективен.

Учитывая острую потребность лесного хозяйства в высокопроходимых, малогабаритных транспортных средствах, имеющих также достаточно высокую сменную производительность, необходимо продолжить работы по

совершенствованию конструкции и внедрению тракторов Т-25АЛ в лесную отрасль.

Заключение

Трактор Т-25АЛ имеет конструкцию, позволяющую устанавливать различное современное технологическое оборудование, в зависимости от технологического процесса.

Трактор Т-25АЛ имеет компоновку, которая позволяет увеличить нагрузку на рейс более чем в два раза по сравнению с традиционной на базе серийного трактора и значительно увеличить сменную производительность.

Библиографический список

1. Александров В.А., Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В. Механизация лесохозяйственных работ. Машины и механизмы: Текст лекций. СПб.: СПбГЛТА, 2004. 132 с.
2. Козьмин С.Ф. Механизация лесного хозяйства и садово-паркового строительства. Машины и механизмы: справочник /С.Ф. Козьмин.- СПб.: СПб ГЛТА, 2006.-408с.
3. Козьмин С.Ф. Машины и механизмы в ландшафтном строительстве: методические указания: методические указания / С.Ф Козьмин.–СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 136 с.
4. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочных тракторов и снижение энергоемкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля.// Диссертация на соискание уч. степени канд. техн. наук, Л.:ЛТА, 1986.-198с.

Сведения об авторах

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

организации

SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

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

Аннотация

Приведены материалы по созданию малогабаритного колесного трактора с шарнирной рамой класса тяги 6 кН для трелевки хлыстов и вывозки сортиментов от рубок ухода. Рассмотрены преимущества применения предлагаемой лесной модификации трактора с колесной формулой 4х4. Рассмотрены перспективные конструкторские разработки по созданию современного технологического оборудования на базе предлагаемого малогабаритного колесного трактора.

Ключевые слова: колесный трактор, активный полуприцеп, шарнирная рама, проходимость, рубки ухода, испытания.

УДК 631.3-1/-9

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.42.03; 55.57.29; 68.01.77; 68.29.15.

Исследование проходимости лесохозяйственного трактора Т-25АЛ

Козьмин С.Ф., Спиридонов С.В., Михайлов О.А., Тарадин Г.С.

Введение.

Впервые для лесного хозяйства проведена разработка и создание колесного трактора Т-25АЛ (лесной вариант серийного трактора Т-25А). Трактор был разработан и создан на кафедре проектирования специальных лесных машин [1,2]. Лесохозяйственный колесный трактор Т-25АЛ (рис.1) представляет собой одноосный моторный модуль трактора Т-25А в агрегате с активным полуприцепом.

Одноосный моторный модуль трактора Т-25А включает в себя колеса 1 низкого давления, двигатель в агрегате с силовой передачей 2, рулевое управление 3 и кабину 4. Активный полуприцеп включает в себя синхронизирующий редуктор 5, вал отбора мощности, 6, универсальный шарнир 7, заднюю полураму 8, ведущий мост 9, колеса 10 низкого давления,

аналогичных установленным на одноосном моторном модуле, гидроцилиндры поворота, соединенными с кронштейнами 11, карданную передачу 12 и переднюю полураму 13.

Кинематическая схема трактора (рис. 2) имеет конструктивные особенности. Крутящий момент от двигателя 1 передается через силовую передачу колесам переднего и заднего мостов трактора. В устройство силовой передачи входят муфта сцепления 2, коробка передач 3, передний ведущий мост, включающий дифференциал с полуосями 4 и 15, синхронизирующий редуктор 6 с синхронным валом отбора мощности 7, карданная передача 8, задний мост, включающий обгонную муфту двойного действия храпового типа 11, полуоси 10 и 12 и конечные передачи 5, 9, 13 и 14.

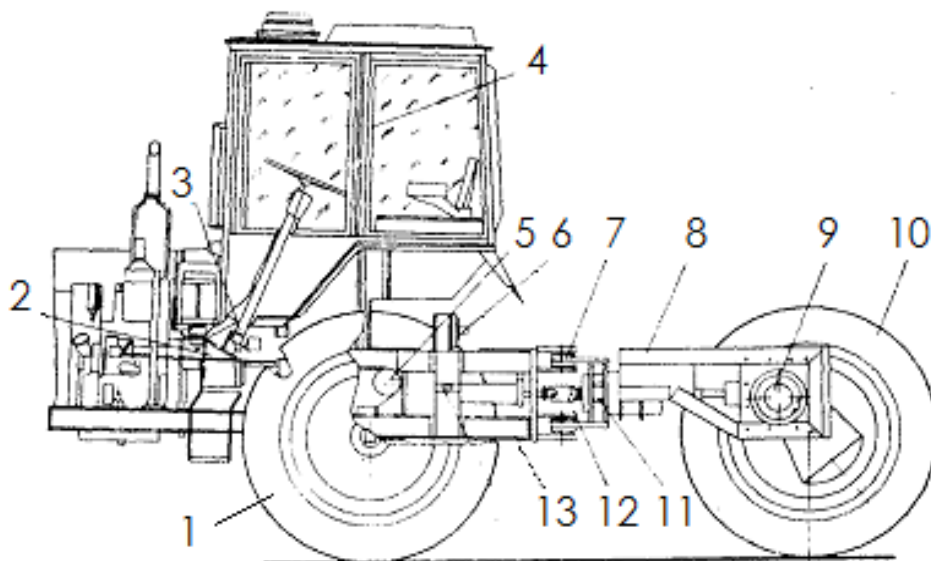


Рис. 1. Лесохозяйственный колесный трактор Т-25АЛ:

1 – колесо одноосного моторного модуля; 2 – двигатель в агрегате с силовой передачей; 3 – рулевое управление; 4 – кабина; 5 – синхронизирующий редуктор; 6 – вал отбора мощности; 7 – универсальный шарнир; 8 – задняя полурама; 9 – ведущий мост; 10 – колесо активного полуприцепа; 11 – места крепления гидроцилиндров поворота; 12 – карданная передача; 13 – передняя полурама.

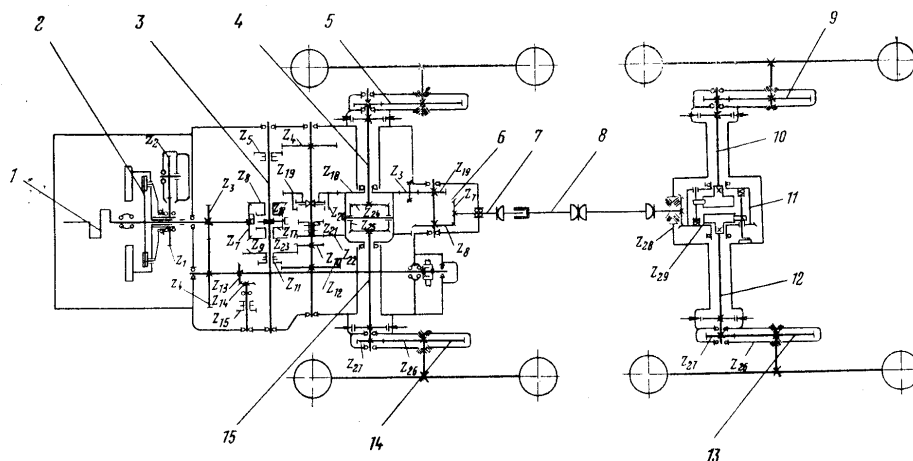


Рис. 2. Кинематическая схема трактора

Колесная формула трактора 4x4. Колеса заднего моста подключаются в тяговый режим только при определенном буксовании колес переднего моста

На заднем ведущем мосту установлена обгонная муфта двойного действия храпового типа. Обгонная муфта служит для автоматического включения заднего моста трактора, а также позволяет задним ведущим колесам вращаться с разными угловыми скоростями [3,4].

Обгонная муфта двойного действия храпового типа (рис. 3) состоит из корпуса 1, внутри которого помещены обоймы 8 и 15, имеющие наружные шлицы и соединенные с полуосями 7 и 14.

На корпусе 1 жестко установлена ведомая коническая шестерня 4 главной передачи, которая входит в зацепление с ведущей конической шестерней главной передачи 11. Ведущая шестерня получает вращение от синхронного вала отбора мощности через карданную передачу.

В одной плоскости с правой (по ходу движения трактора) обоймой 15 находится двойной храповик 10, закрепленный шпонкой на оси 12. Ось свободно вставлена в сверление корпуса 1 и установленной в ней пружиной 9 смещается вправо, благодаря чему упорный выступ, имеющийся на правом конце оси, оказывается постоянно прижатым к тормозной шайбе 13, установленной на корпусе главной передачи заднего моста 17.

Такой же двойной храповик 3 имеется и с левой стороны, но размещен он в одной плоскости с левой обоймой 8, а его ось 2 прижимается упорным выступом 5 к левой тормозной шайбе 6.

При вращении корпуса обгонной муфты 1 силой трения, возникающей между выступами осей и тормозными шайбами, храповики поворачиваются в том же направлении. Если корпус обгонной муфты начнет вращаться в противоположном направлении, то храповики развернутся в другую сторону.

Передаточные числа в передачах к задним и передним колесам подобраны так, что при отсутствии буксования передних колес трактора полуоси 7 и 14 с обоймами 8 и 15 вращаются несколько быстрее ведомой шестерни 4 и храповики 3 и 10 не входят в зацепление по наружным шлицам обойм 8 и 15. Задний мост при этом выключен.

Когда же передние колеса трактора попадут в тяжелые дорожные условия и начнут буксовать, это буксование вызовет уменьшение поступательной скорости трактора, а, следовательно, и уменьшение угловой скорости полуосей 7 и 14 с обоймами 8 и 15.

При этом будет происходить выравнивание угловых скоростей полуосей с обоймами и ведомой шестерни.

Как только буксование передних колес трактора достигнет определенной величины, например, 4%, угловые скорости полуосей с обоймами и ведомой

шестерни станут равными, т.е. корпус обгонной муфты с ведомой шестерней догонит обоймы. В результате храповики войдут в зацепление с наружными шлицами обойм.

С дальнейшим увеличением буксования передних колес крутящий момент начнет передаваться от ведомой шестерни через храповики на обоймы через полуоси и конечные передачи к задним колесам. Задний мост будет включен. При уменьшении буксования передних колес трактора полуоси с обоймами снова начнут вращаться быстрее ведомой шестерни.

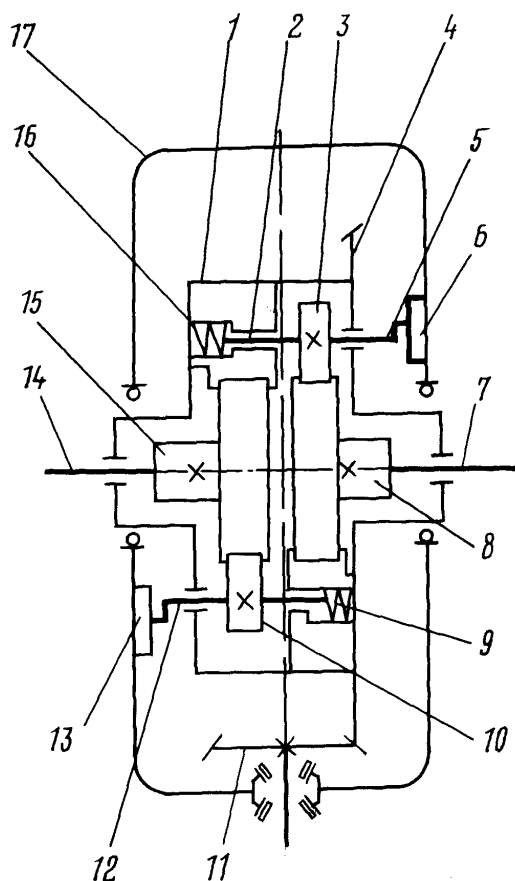


Рис. 3. Схема сдвоенной обгонной муфты двойного действия храпового типа

1 – корпус обгонной муфты; 2 – ось левого двойного храповика; 3 – храповик левый; 4 – ведомая шестерня главной передачи; 5 – опорная часть оси левого храповика; 6 – тормозная шайба левая; 7 – полуось левая; 8 – обойма с наружными шлицами левая; 9 – пружина оси правого храповика; 10 – храповик правый; 11 – ведущая шестерня главной передачи; 12 – ось правого храповика; 13 – тормозная шайба правая; 14 – полуось правая; 15 – обойма с наружными шлицами правая; 16 – пружина оси левого храповика; 17 – корпус главной передачи заднего моста.

Храповики выйдут из зацепления с наружными шлицами обойм и крутящий момент не будет передаваться к задним колесам.

При повороте трактора вправо левое заднее колесо, проходя больший путь, начнет вращаться быстрее. Поэтому левая обойма 8 обгоняет ведомую шестерню 4 и ее храповик не входит в зацепление с зубцами. Правый же храповик 10 по-прежнему будет упираться в шлицы обоймы 15 и передавать

крутящий момент правому заднему колесу. При повороте влево обгонная муфта действует так же, но входит в зацепление, в этом случае, уже правый храповик.

Таким образом, задний ведущий мост трактора автоматически включается в работу, если буксование передних колес более 4%, и выключается, когда буксование передних колес менее 4%.

Итак, условие работы обгонной муфты двойного действия храпового типа определяется выражением:

$$\omega_1 > \omega_2,$$

где ω_1 – угловая скорость полуоси заднего моста; ω_2 – угловая скорость ведомой шестерни главной передачи.

Испытания проводились в производственных условиях на рубках ухода при движении по технологическому коридору с пачкой хлыстов объемом 1,5 м³, скоростью 1,4 м/с и буксованием δ в пределах: 4% > δ > 4%.

Анализ распределения моментов по колесам трактора Т-25АЛ при движении его с грузом по лесным грунтам показал, что наличие обгонной муфты на заднем мосту трактора вносит особенности в распределение крутящих моментов по задним ведущим колесам.

На рис. 4, рис. 5 и рис. 6 представлены осциллограммы распределения крутящих моментов по колесам трактора при движении на участках с различным буксованием δ .

Испытаниями установлено, что при движении трактора характер реализации крутящих моментов на колеса переднего и заднего мостов неодинаков. На осциллограммах приняты следующие обозначения:

M_1 – крутящий момент на переднем левом колесе, H_M ; M_2 – крутящий момент на переднем правом колесе, H_M ; M_3 – крутящий момент на заднем левом колесе, H_M ; M_4 – крутящий момент на заднем правом колесе, H_M .

На рис. 4 и рис. 5 выделены участки движения по технологическому коридору с пачкой леса.

L_1 – движение с буксованием в менее 4%; в тяговом режиме участвуют только колеса переднего моста.

L_2 – движение с буксованием более 4%, но правое колесо имеет сцепление с почвой $\varphi_{сц} = 0$; в тяговом режиме участвуют три колеса.

На рис. 5 выделен участок L с буксованием δ более 4% и достаточным сцеплением с почвой. В тяговом режиме участвуют 4 колеса.

На рис. 6 выделен участок движения по пересеченной местности под пологом леса с коэффициентом сцепления с почвой $\varphi_{сц} = 0,3-0,4$ и буксованием < 4% и > 4%, а также без буксования и при движении на поворотах.

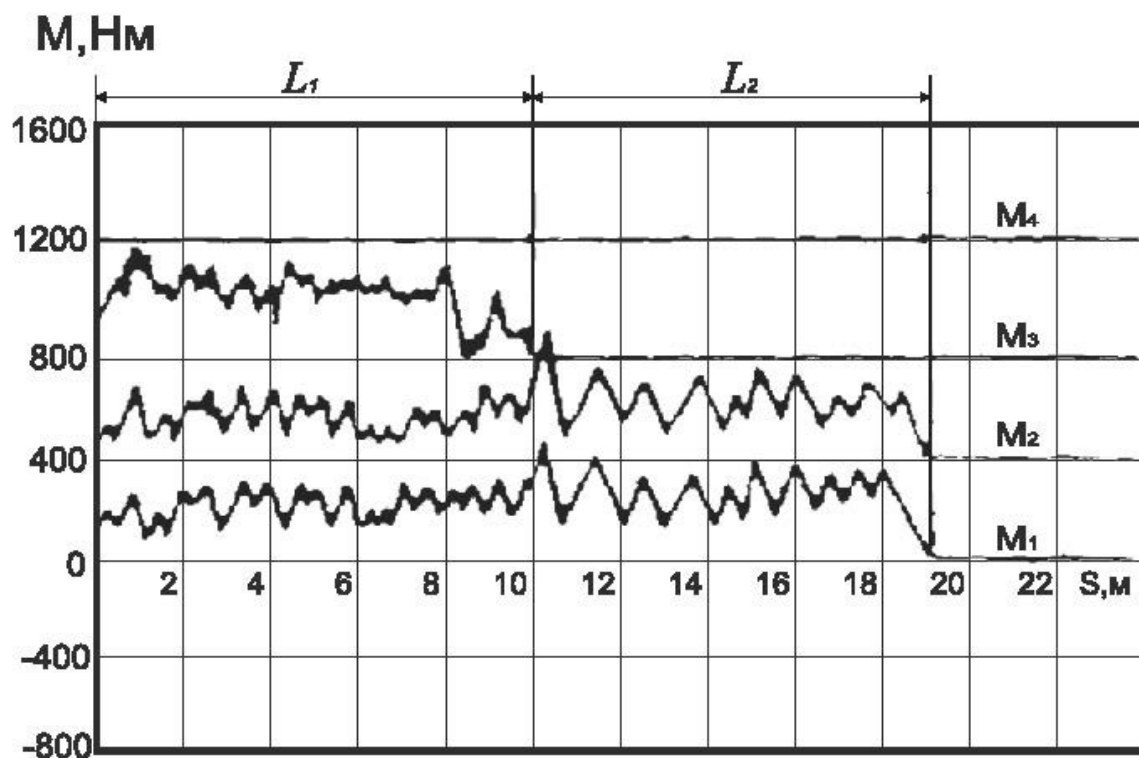


Рис. 4. Движение по прямому участку и при повороте влево

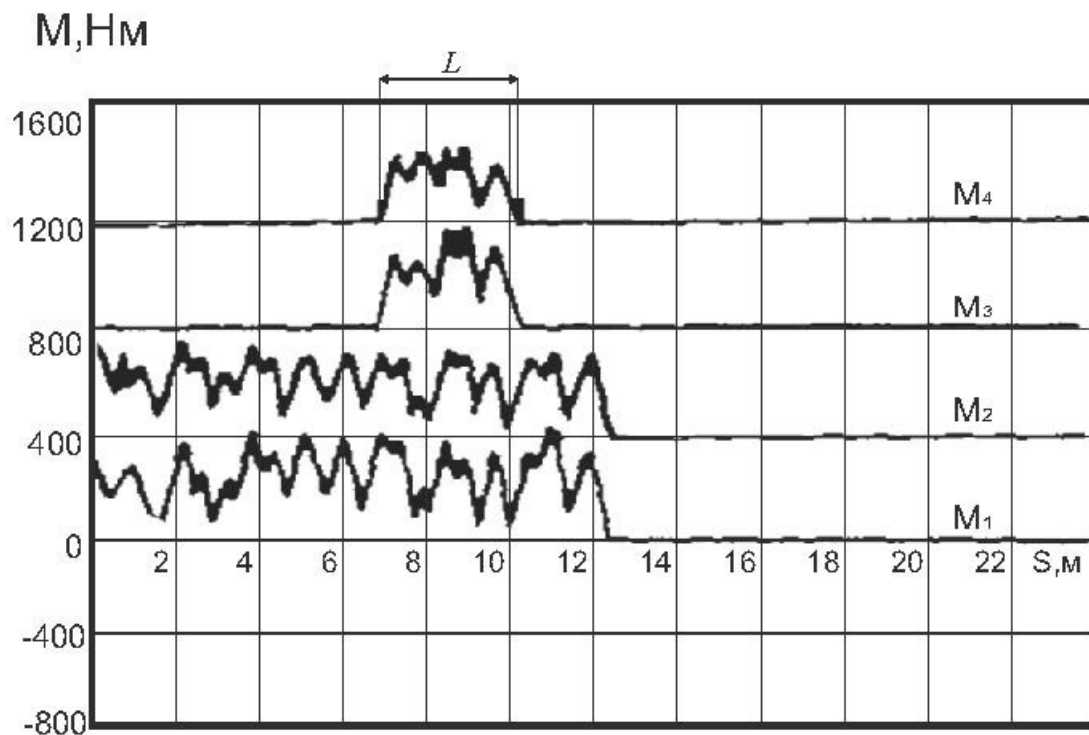


Рис. 5. Движение по прямому участку

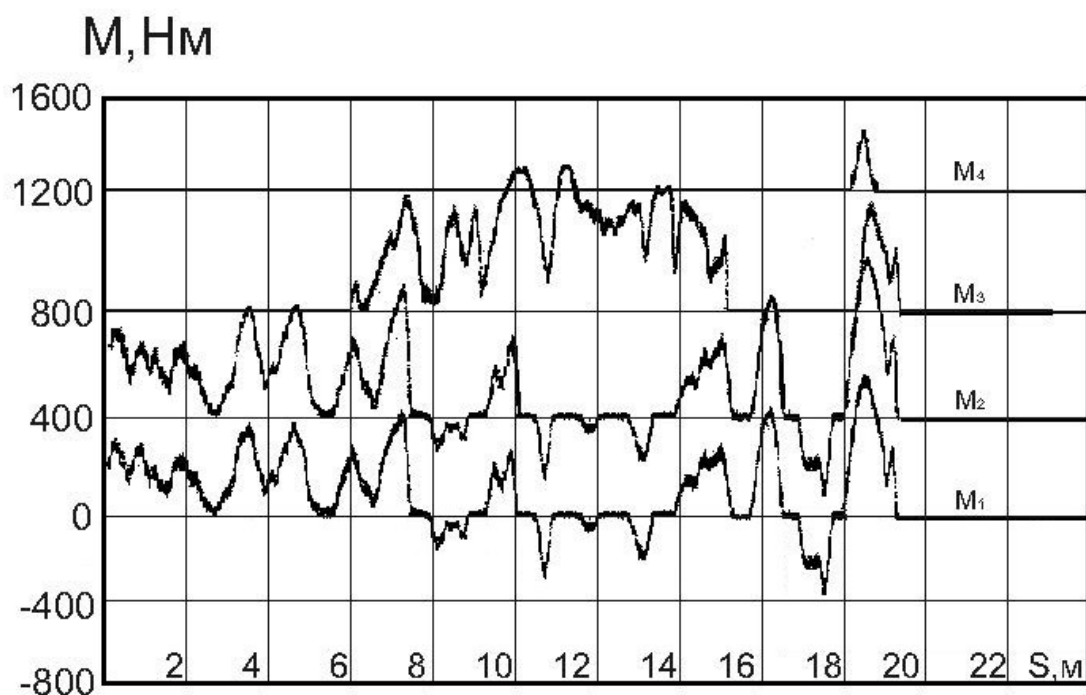


Рис. 6. Движение под пологом леса

Заключение

1. Установка обгонной муфты позволяет значительно повысить проходимость трактора. При движении по пересеченной местности с низким коэффициентом сцепления с почвой ($\varphi_{\text{сц}} = 0,1-0,3$) и буксовании δ менее 4% в тяговом режиме участвуют передние и задние колеса. При этом, в случае буксования задних колес или одного из них, блокировка обгонной муфты не требуется.

2. Обгонная муфта позволяет ведущим колесам вращаться с разной угловой скоростью. При движении по пересеченной местности трактора каждое из ведущих колес заднего моста реализует крутящий момент, в зависимости от сцепления их с почвой, в отличие от дифференциала.

3. Обгонную муфту можно рекомендовать для установки на колеса заднего ведущего моста вновь разрабатываемых отечественных колесных лесных машин класса тяги 6кН - 30 кН с колесной формулой 4x4 и 6x6.

Библиографический список

1. Александров В.А. Механизация лесосечных работ в России – СПб.: ГЛТА, 2000. – 208 с.
2. Козьмин С.Ф. Машины и оборудование лесного хозяйства: методические указания / С.Ф. Козьмин. – СПб.: «Галаника» 2019. – 68 с.
3. Козьмин С.Ф., Александров А.В. Лесохозяйственные машины и их применение: методические указания / Козьмин С.Ф., Александров А.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 132с.
4. Михайлов О.А., Спиридонов С.В., Тарадин Г.С., Дурманов М.Я. Оптимизация параметров моторно-трансмиссионной установки лесопромышленных тракторов // Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта

Сведения об авторах

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

Аннотация

Приведены материалы по созданию малогабаритного колесного трактора с шарнирной рамой гласа тяги 6 кН для трелевки хлыстов и вывозки сортиментов от рубок ухода. Рассмотрены преимущества применения предлагаемой модификации трактора с колесной формулой 4x4. Рассмотрены перспективные

конструкторские разработки по созданию современного технологического оборудования на базе предлагаемого малогабаритного колесного трактора.

Ключевые слова: колесный трактор, активный полуприцеп, шарнирная рама, проходимость, рубки ухода, испытания.

УДК 631.3-1/-9

Разделы рубриката ГРНТИ 55.42.03; 55.57.29; 68.01.77; 68.29.15; 68.85.29

Исследование вертикальной динамики малогабаритного колесного трактора

Киселев К.В., Козьмин С.Ф., Михайлов О.А., Тарадин Г.С.

Введение

Современные требования к лесному хозяйству, в связи с возросшими социальными функциями лесов, оказывают все большее влияние на машины, которые применяются на технологических операциях.

Увеличение скорости движения и совершенство конструкции машин, приводят к увеличению продолжительности чистого рабочего времени. При этом повышается нагруженность двигателя и узлов машин. Малогабаритный колесный трактор Т-25АЛ конструкции ЛТА удачно вписывается в технологический процесс рубок ухода, но динамические процессы, возникающие в производственных условиях мало изучены [1,2].

На рис.1 изображена колебательная система, эквивалентная малогабаритному колесному трелевочному трактору. Трелевка хлыстов в полупогруженном положении. Движение по микропрофилю заранее подготовленного лесного волокна [3,4].

Исходные данные:

колесная формула лесохозяйственного трактора 4×4 ; m_1 – масса трактора; $m_x = (m_2 + m_3 + m_4)$ – масса пачки хлыстов; L_x – приведенная длина пачки хлыстов; $c_{ш1}, c_{ш2}$ – жесткость шин, c_3 – жесткость пачки хлыстов; $k_{ш1}, k_{ш2}$ и k_3 – коэффициенты сопротивления шин и пачки хлыстов.

Профиль неровностей аппроксимируется синусоидальной функцией.

Расчетная схема имеет две системы обобщенных координат, характеризующих положение системы при вертикальных колебаниях: 1) z_0, α_0, z_3 ; 2) z_1, z_2, z_3 ,

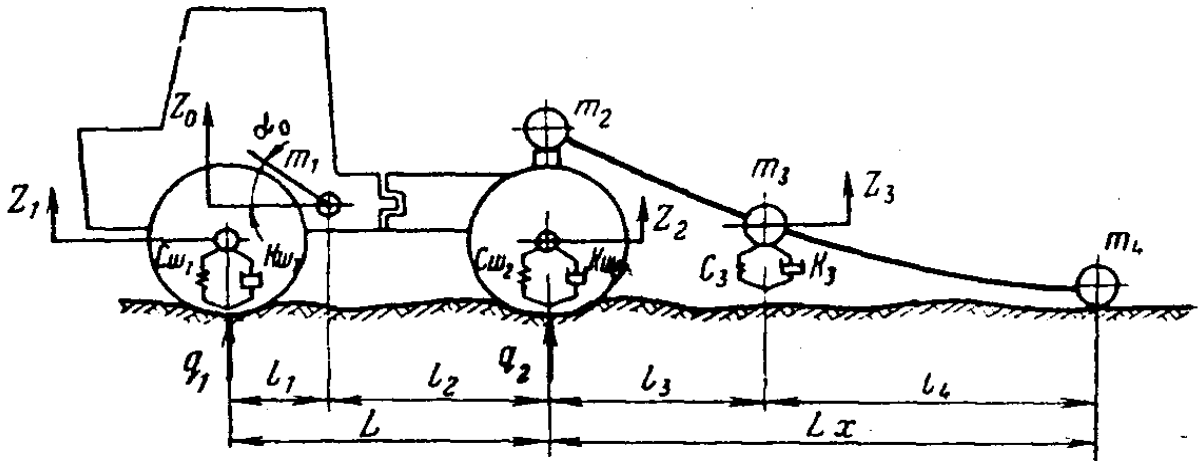


Рис. 1. Эквивалентная система

где z_0, α_0 – вертикальные и угловые перемещения центра масс m_1 ; z_1, z_2 – вертикальные перемещения переднего и заднего мостов трактора; z_3 – вертикальные перемещения центра масс пачки хлыстов m_3 .

Между двумя системами обобщенных координат существует зависимость

$$z_0 = \frac{z_1 l_2 + z_2 l_1}{L}; \alpha_0 = \frac{z_1 - z_2}{L}. \quad (1)$$

Для упрощения расчетов в данной работе не учитываются малые значения параметров $k_{ш1}, k_{ш2}$ и k_3 .

Для получения дифференциальных уравнений вертикальных колебаний данной системы воспользуемся уравнениями Лагранжа:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_1} - \frac{\partial T}{\partial z_1} &= - \frac{\partial \Pi}{\partial z_1}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_2} - \frac{\partial T}{\partial z_2} &= - \frac{\partial \Pi}{\partial z_2}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{z}_3} - \frac{\partial T}{\partial z_3} &= - \frac{\partial \Pi}{\partial z_3}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Запишем выражения кинетической T и потенциальной энергии Π :

$$T = \frac{1}{2} m_1 \frac{l_2^2}{L^2} \dot{z}_1^2 + m_1 \frac{l_2 l_1}{L^2} \dot{z}_1 \dot{z}_2 + \frac{1}{2} m_1 \frac{l_1^2}{L^2} \dot{z}_2^2 + \frac{1}{2} m_1 p^2 \frac{1}{L^2} \dot{z}_2^2 - m_1 p^2 \frac{1}{L^2} \dot{z}_1 \dot{z}_2 + \frac{1}{2} m_1 p^2 \frac{1}{L^2} \dot{z}_1^2 + \frac{1}{2} m_3 \dot{z}_3^2; \quad (3)$$

$$\Pi = \frac{1}{2} z_1^2 c_{ш1} - z_1 q_1 c_{ш1} + \frac{1}{2} q_1^2 c_{ш1} + \frac{1}{2} z_2^2 c_{ш2} - z_2 q_2 c_{ш2} + \frac{1}{2} q_2^2 c_{ш2} + \frac{1}{2} z_3^2 c_3 - 0,6 z_3 z_2 c_3 + 0,2 z_2^2 c_3. \quad (4)$$

Потенциальная энергия определена для случая трелевки пачки хлыстов комлем вперед.

Проведя с выражениями для кинетической T и потенциальной энергии Π надлежащие действия и подставив полученные выражения, имеем систему дифференциальных уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{z}_1 + \frac{l_2 l_1 - p^2}{l_2^2 + p^2} \ddot{z}_2 + \frac{c_{ш1} L}{m_1 (l_1^2 + p)} z_1 &= \frac{c_{ш1} L^2}{m_1 (l_2^2 + p^2)} q_1; \\ \ddot{z}_2 + \frac{l_2 l_1 - p^2}{l_1^2 + p^2} \ddot{z}_1 + \frac{(c_{ш2} + 0,4c_3)L^2}{m_1 (l_1^2 + p^2)} z_2 - \frac{0,6c_3 L^2}{m_1 (l_1^2 + p^2)} z_3 &= \frac{(c_{ш2} + 0,4c_3)L^2}{m_1 (l_1^2 + p^2)} q_2 \\ \ddot{z}_3 + \frac{c_3}{m_3} z_3 - \frac{0,6c_3}{m_3} z_2 &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Заменяя выражения при переменных принятыми коэффициентами, получаем:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{z}_1 + K_1 \ddot{z}_2 + \omega_1^2 z_1 &= \omega_1^2 H \sin \omega t; \\ \ddot{z}_2 + K_2 \ddot{z}_1 + \omega_2^2 z_2 - \omega_3^2 z_3 &= \omega_2^2 H \sin(\omega t - \varepsilon); \\ \ddot{z}_3 + \omega_4^2 z_3 - \omega_5^2 z_2 &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

$$\text{где } \omega_1^2 = \frac{0,6c_3 L^2}{m_1 (l_1^2 + p^2)}; \quad \omega_4^2 = c_3 / m_3; \quad \omega_5^2 = 0,6c_3 / m_3.$$

Выведенные дифференциальные уравнения описывают вертикальные колебания колесного трактора при движении его по трелевочному волоку с пачкой хлыстов.

Рассмотрим числовой пример.

Пусть $v = 1,4$ м/с; $H = 0,10$ м; $L_H = 0,20$ м; $L = 2,0$ м; $Z_x = 16,0$ м; $c_3 = 40$ кН/м; $c_{ш1} = 450$ кН/м; $c_{ш2} = 460$ кН/м; $G = 28$ кН; $G_3 = 1,5$ кН; $l_1 = 0,70$ м; $l_2 = 1,30$ м; $p = 0,80$ м.

Тогда

$$\begin{aligned} K_1 &= \frac{l_1 l_2 - p^2}{l_2^2 + p^2} = 0,116; & K_2 &= \frac{l_1 l_2 - p^2}{l_2^2 + p^2} = 0,239; \\ \omega_1^2 &= \frac{c_{ш1} L^2}{m(l_2^2 + p^2)} = 274,0c^{-2}; & \omega_2^2 &= \frac{(c_{ш2} + 0,4c_3)L^2}{m_1 (l_1^2 + p^2)} = 593,0c^{-2}; \\ \omega_3^2 &= \frac{0,6c_3 L^2}{m_1 (l_1^2 + p^2)} = 30,0c^{-2}; & \omega_4^2 &= \frac{c_3}{m_3} = 266,0c^{-2}; \\ \omega_5^2 &= \frac{0,6c_3}{m_3} = 160,0c^{-2}; & \omega &= 2\pi \frac{v}{L_H} = 43,96c^{-1}; & \varepsilon &= 2\pi \frac{L}{L_H} = 62,8 \end{aligned}$$

Система дифференциальных уравнений примет вид:

$$\left. \begin{aligned} \ddot{z}_1 + 0,116\ddot{z}_2 + 274z_1 &= 27,4 \sin 43,96t; \\ \ddot{z}_2 + 0,239\ddot{z}_1 + 593z_2 &= 59,3 \sin(43,96t - 62,8); \\ \ddot{z}_3 + 266z_3 - 160z_2 &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

Заключение

Решение полученных дифференциальных уравнений вертикальных колебаний колесного трактора при движении по лесному волоку, дают возможность на этапе проектирования определить реальные нагрузки с учетом

динамики, выбрав при этом наиболее оптимальные параметры и оптимальные нагрузки на рейс. Определить коэффициенты динамичности для прочностных расчетов узлов и деталей трактора.

Библиографический список

1. *Александров В.А., Козьмин С.Ф., Шоль Н.Р., Александров А.В.* Механизация лесного хозяйства и садово-паркового строительства: учебник для студентов вузов/В.А. Александров [и др.]; ред. В. А. Александров. - СПб.: Лань, 2012. - 528с.
2. *Дурманов М.Я., Куликов В.Н., Михайлов О.А.* Влияние параметров лесохозяйственного машинно-тракторного агрегата на часовой расход топлива дизеля при транспортном режиме//Сборник статей по материалам научно-технической конференции института технологических машин и транспорта леса по итогам научно-исследовательских работ 2018 /отв. ред. В.А. Соколова-СПб.: СПбГЛТУ, 2019. №1, с. 110-120
3. *Козьмин С.Ф.* Трактор Т-25АЛ с шарнирной рамой в лесном хозяйстве: методические указания/сост. С.Ф.Козьмин.– СПб.: СПбГЛТА, 2019. -76 с.
4. *Козьмин С.Ф.* Исследование компоновки лесохозяйственного колесного трактора класса тяги 6 кН: учебное пособие/С.Ф. Козьмин.- Л.: ЛТА, 1982.- 44 с.

Сведения об авторах

ФИО	Киселев К.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	ankey47@mail.ru
ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681-4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5247-6595
e-mail grisha190@mail.ru

Аннотация

Приведены материалы исследованию вертикальных колебаний малогабаритного колесного трактора с шарнирной рамой класса тяги 6 кН для трелевки леса от рубок ухода. Для получения математической модели вертикальных колебаний данной системы использованы уравнения Лагранжа.

Ключевые слова: исследования, колесный трактор, кинетическая энергия, потенциальная энергия, жесткость шины, проходимость, рубки ухода.

УДК 631.3-1/-9

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.42.03; 55.57.29; 68.29.15; 68.85.29

Системная связность лесосечных работ

**Базаров С.М., Беленький Ю.И., Соловьев А.Н.,
Большаков Р.И., Милехин А.И.**

Введение

Для устойчивого развития лесопромышленных предприятий необходимо чтобы научные основы анализа и синтеза теории систем становились базовыми представлениями формирования технологий. Алгебраическое понятие системы предполагает единство элементов множества в их связности целевой функцией. Производственному процессу, как динамической системы операций, соответствует своя пространственно-временная структура. Предметом труда в лесозаготовительном производстве является дерево (материал древесины), каждой операции в комплексе машин соответствует производительность, как значение объема материала древесины, производимого (перемещаемого) в единицу времени (внешнего, физического), здесь единица времени является общей в системе; количество производимой (перемещаемой) древесины в общем случае по операциям является переменным, т.е. производительность операции является функциональным параметром по отношению к внешнему времени. Производительности операции в системе ставится в соответствие мультипликативно двойственная по умножению величина, которая характеризует время, необходимое для производства (перемещения) единицы

объема материала древесины (единицы труда); единица объема является общей в системе, а время её производства (перемещения) в общем случае для операций в системе является переменным; это означает наличие в комплексе лесной техники внутреннего функционального времени производства единицы предмета труда (общей в комплексе), связывающего все операции комплекса в единую интегрированную производственную структуру. С рассматриваемых групповых позиций производительность операции и функциональное время производства единицы предмета труда являются мультипликативно двойственными полугруппами. В свою очередь операция каждой машины в лесозаготовке представляет собой систему связанных подопераций, которым можно поставить в соответствие производительность и функциональное время.

При дифференцированном анализе лесосечных работ имеет место двухуровневая иерархическая структура системной связности:

- операции комплекса;
- подоперации операции комплекса.

Эффективность комплекса технологических операций на лесосеке определяется расширенным связным множеством функциональных времен всех подопераций от первой операции до последней и их синергетическая синхронизация оптимизирует работу комплекса как единую структуру.

В своей основе выполняемые в лесозаготовительном производстве операции: валка леса, очистка деревьев от сучьев, раскряжевка хлыстов на сортименты, трелевка, измельчение древесины, разгрузка, погрузка и др., – являются дискретно-непрерывными и статистически детерминированными. На рынке машиностроения лесозаготовительная техника представлена множеством бензиномоторных пил, валочно-пакетирующих, валочно-трелевочных, сучкорезных и сучкорезно-раскряжевочных машин, трелевочных тракторов, погрузчиков, сортиментовозов, харвестеров и др. Множество сочетаний операций оборудования образуют множество вариантов комплексов машин [1, 2], каждый из которых в процессе эксплуатации становится структурой связанных функциональным временем производственных процессов, происходящих во внешнем общем времени (астрономическом).

Результаты исследования

При построении математической модели системной связности лесосечных работ необходимо от концептуального представления системы, как аддитивного объединения конкретных элементов, переходить к алгебраическому: система – это совокупность элементов, объединенных целевой функцией, и отношением элементов между собой (унарное, бинарное, триадное, тетрадное и т.д.). Особо важной алгебраической системой является структура с бинарным отношением между элементами в виде группы. В этом

случае обеспечивается гармоническое представление системы, позволяющее решать задачи оптимизации при наличии противоречивых отношений между элементами, в отличие от вариационной оптимизации по выбранным отношениям.

Для каждой операции в комплексе машин определяется зависимость производимого (перемещаемого) объема материала древесины от затраченного времени

$$V_i = f_i(t) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

где V – объем древесины; t – время выполнения операции; i – номер операции в системе производства; n – число технологических и переместительных операций в комплексе.

Производная

$$dV_i / dt = \Pi_i, \quad (2)$$

характеризует производительность операции и определяет значение объема материала древесины, производимого (перемещаемого) в единицу времени.

Производительности операции в системе соответствует мультипликативно двойственная по умножению величина

$$dt / dV_i = 1 / \Pi_i = q_i, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (3)$$

которая характеризует функциональное время, необходимое для производства (перемещения) единицы объема материала древесины.

Производительность и функциональное время производства единицы предмета труда образуют мультипликативно двойственную группу по умножению [4]

$$\Pi_i q_i = 1 \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

которая выстраивает гармоничное единство производственного процесса в дуальной сопряженности: производительности операции, как полугруппы группы (4), и функционального времени производства единицы труда, как симметричной полугруппы группы (4).

Функциональное время цикла определяется как сумма функциональных времен операций

$$Q_c = \sum q_i \quad i = 1, 2, 3, \dots, n,$$

ему соответствует среднее значение

$$q = Q_c / n,$$

вокруг которого формируется стохастический производственный процесс.

Традиционный анализ лесосечных работ сводится к определению величин продукта труда операции и затрачиваемого времени, при таком подходе производительность операций сводится к дискретному представлению [3]

$$P_i = V_i / T_i = V_x N_i / T_i = V_x / T_{li}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (5)$$

где V – объем древесины в операции; V_x – средний объем дерева (хлыста); T_i – время операции; N_i – число деревьев (хлыстов) в операции; T_{li} – время, приходящееся на одно дерево (хлыст) в операции.

В свою очередь время машинной операции является суперпозицией времен подопераций (технологических, переместительных)

$$T_{li} = \sum T_{lj}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad j = 1, 2, 3, \dots, m_i \quad (6)$$

где j – номер подоперации; m_i – число подопераций в i операции.

Средний объем хлыста при расчете производительности операций комплекса машин на лесосеке принимается постоянным на основании таксационной информации, поэтому производительности цикла соответствует формула

$$P_c = V_x / \sum T_{li} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (7)$$

или

$$P_c = V_x / \sum \sum T_{lij} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad j = 1, 2, 3, \dots, m_i \quad (8)$$

При непрерывной работе лесной техники комплекса производительность определяется по среднему значению функционального времени цикла, поэтому здесь производительность равна

$$P = n P_c \quad (9)$$

Формулы (7), (8) и (9) указывают на глубокую интегрированную зависимость технологической эффективности производственного процесса комплекса лесной техники не только от эффективности операции, но и всех подопераций операций. Степень синхронизации операций характеризуется дисперсией функционального времени

$$\sigma = \sum (q_i - q_c)^2 / (n - 1) \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (10)$$

и соответствующим средним квадратичным отклонением

$$r = \sigma^{1/2}$$

Заключение

Системный анализ производственных процессов лесозаготовки указывает на глубокую интегрированную связность в функциональном времени технологических и переместительных подопераций всех операций. Необходимым условием повышения производительности комплекса лесной

техники становится максимальной синхронизации функциональных времен выполнения операций (подопераций) путем минимизации их дисперсии.

Библиографический список

1. *Базаров С.М.* Системно-синергетический анализ технологий лесозаготовительного производства / *С.М.Базаров, Ю.И.Беленький, А.Н.Соловьев.*- СПб.: СПбГЛТУ, 2014.- 96 с.
2. *Барановский В.А.* Системы машин для лесозаготовок. / *В.А.Барановский, Р.М.Некрасов.* – М.: Лесная пром-ность, 1977.-248 с.
3. *Йори Ууситало.* Основы лесной технологии. / *Йори Ууситало.*- Финляндия: Университет Йюэнсуу, 2004.- 228 с.
4. *Фор Р.* Современная математика. / *Р.Фор, А. Кофман, М. Денни-Папен.*- М.: Мир, 1966.-271 с.

Сведения об авторах

ФИО	Базаров С.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М.Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия.
SPIN-код	4224-5335
e-mail	s.bazarow@yandex.ru
ФИО	Беленький Ю.И.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М.Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия.
SPIN-код	1937-7472
e-mail	klp.by@mail.ru
ФИО	Соловьев А.Н.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М.Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия.
SPIN-код	9825-7754
e-mail	srb.soloviev@mail.ru
ФИО	Большаков Р.И.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М.Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия.
SPIN-код	отсутствует

e-mail	<i>bolshakov@mail.ru</i>
ФИО	Милехин А.И.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М.Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия.
SPIN-код	отсутствует
e-mail	<i>milexin@mail.ru</i>

Аннотация

Лесозаготовительный комплекс машин на лесосеке является глубоко интегрированной функциональным временем динамической структурой, эффективность которой зависит от того, на сколько основы теории системного анализа и синергетики применяются при его формировании. Оптимальная производительность достигается максимальной синхронизацией технологических операций, определяемой минимумом дисперсии функционального времени.

Ключевые слова: комплекс, цикл, время, производительность.

УДК 630 323

Раздел рубрикатора ГРНТИ 66.15.00

К вопросу об обосновании оптимальных технологических процессов лесозаготовок в условиях СЗФО РФ

Свойкин Ф.В., Свойкин В.Ф., Россихин К.В.

Введение

Обзор и аналитика актуального состояния лесозаготовительного кластера лесопромышленного комплекса СЗФО позволяют сделать вывод о тенденции ритмичных и круглогодичных поставок древесины потребителю в виде сортиментов и постепенном переходе на лесозаготовительные комплекты лесных машин (валочно-сучкорезно-раскряжевочная машина (ВСРМ) на колесном либо гусеничном ходу на фазе валки, обрезки сучьев и раскряжевки, и колесный сортиментоподборщик (КС) на фазе первичной вывозки древесины). Стоит отметить, что лесозаготовительные компании при выборе и комплектации парка лесных машин отдают предпочтение комплексам одной фирмы-производителя (унификация деталей (ГСМ, ОС и ИС), единый сервис, возможность full-сервиса). Крупные лесопромышленные предприятия (ООО «Группа компаний «УЛК», АО «Монди СЛПК», АО «ГРУППА «ИЛИМ»)

содержат парк в 100-150 лесозаготовительных машин (ведущих фирм-производителей John Deere, Ponsse, Komatsu, Volvo, Rottne).

Стоит отметить, что в некоторых компаниях в каждом лесозаготовительном филиале холдинга заготовку древесины осуществляют лесные машины одной фирмы-производителя (в целом парк холдинга может содержать технику до 3-4 фирм-производителей). Подобная система имеет ряд неоспоримых преимуществ – отсутствие монополии какой-либо определенной фирмы-производителя (поддержание конкуренции) и, в то же время, сохранение лесозаготовительной техники одного производителя внутри отдельного лесозаготовительного филиала холдинга для унификации обслуживания.

В настоящее время ремонт зарубежной лесозаготовительной техники осуществляется специализированными сервис-центрами (возможность ремонта техники ее владельцем ограничена или невозможна, возможна лишь замена расходных материалов, ГСМ). От качественного своевременного профессионального сервиса техники во многом зависит надежность и высокая производительность лесозаготовительных комплексов.

Проблема

На итоговую производительность лесозаготовительных комплексов, помимо характеристик самих комплексов огромную роль оказывает и технологический процесс, а также совокупность природно-производственных условий. Так, при осуществлении операций по заготовке древесины лесозаготовители сталкиваются с трудностями при валке крупномерных деревьев (рис. 1), диаметром у комля от 81 см, т.к. максимальный диаметр пропила большинства харвестерных головок, представленных на Российском рынке сортиментой техники, не превышает 80 см [1]. Это не исключает возможность развития рынка харвестерных головок с максимальным диаметром пропила до 100 см, а также валки крупных деревьев при помощи цепного ручного моторного инструмента.



Рис.1. Невозможность применения существующей техники и технологии для заготовки древесины в СЗФО РФ из-за таксационных характеристик лесосек
Решение

Наряду с обоснованием технической надежности лесных машин на передовые позиции выходит и обоснование параметров надежности технологических процессов лесозаготовок [2]. Теоретическое обоснование параметров надежности технологических процессов лесозаготовок подразумевает общую постановку задачи выбора показателей надежности технологических процессов лесозаготовок (ТПЛ). К показателям относятся: почвенно-грунтовые условия (ПГУ) арендной базы, рельефные характеристики,

схема расположения, маршрутизация и логистика трелевки и вывозки древесины, информационная обеспеченность и вооруженность принятия решений в условиях риска и неопределенности, климатические характеристики арендной базы (обеспеченность зимнего и летнего периода лесозаготовок, продолжительность периода прекращения заготовки древесины в весенний и осенний период (т.н. весенней и осенней «распутицы») [3]).

Выводы

Показателями оценки надежности ТПЛ может служить:

1. Технические характеристик парка лесозаготовительных машин (возможный объем заготавливаемой древесины, производительность, наработка на отказ, ремонтпригодность, оптимальное количество и состав парка машин (Например: «1 ВСРМ + 1 КС», «1 ВСРМ + 2 КС», «2 ВСРМ + 2 КС», «2 ВСРМ + 3 КС» и т.д.), проходимость (обоснованность применения иных систем машин – КТУ и т.д.)).
2. Природно-производственные условия арендной базы (средний запас на 1 га, средний объем хлыста, породный состав древостоя, ПГУ арендной базы, рельеф арендной базы, удаленность от транспортных сетей).
3. Надежность технологического процесса лесозаготовок (применение оптимальной технологии, системы машин в зависимости от природно-производственных условий арендной базы). Т.е. применение понятий «надежность», «долговечность» не только к технике, но и к технологии лесосечных работ.

Показателями эффективности ТПЛ являются: продолжительность периода, производительность, экономическая и экологическая эффективность.

Приоритетной задачей является разработка методики для определения показателей надежности ТПЛ в заданное время на конкретные предприятия для рекомендаций лесозаготовителям по оптимизации процесса лесозаготовок.

Немаловажной задачей является разработка и реализация методики на ПО высокого уровня для рекомендации лесозаготовительным предприятиям по выбору парка лесозаготовительной техники и маршрутизации трелевки для работы в различных природно-производственных условиях (лесные машины (ВСРМ и КС) легкого, среднего и тяжелого класса определенной фирмы-производителя оптимально подходящие для работы в конкретных условиях (климатических, рельефных, почвенно-грунтовых)).

Для разработки вышеуказанных методик предварительно необходимо решить следующие задачи:

1. Методика определения зимнего периода лесосечных работ (в качестве критерия начала периода может служить устойчивый переход температуры через 0 °С). [4]

2. Методика определения летнего периода лесосечных работ (в качестве критерия начала периода может служить уровень грунтовых вод).
3. Разработка критериев оценки систем машин (какие системы машин каких фирм-производителей наиболее эффективны в различных природно-производственных условиях, каковы оптимальные состав и количество машин в парке).
4. Методика оптимизации схем разработки лесосеки для различных технологических процессов лесозаготовок.

В процессе решения вышеперечисленных задач особое внимание стоит уделить таким перспективным направлениям как:

1. Использование сверхлегких беспилотных воздушных комплексов (БПЛА) в лесозаготовительном производстве. Перспективным направлением использования БПЛА в лесозаготовках является передача аэрофотоснимков в реальном времени на многооперационные лесозаготовительные машины (харвестеры, форвардеры), с выводом на дисплей бортового компьютера положения машины вместе с прочими данными карты (местность, площадь лесозаготовки, положение на карте, границы лесосеки, маршруты, основные биотопы, ЛЭП, места расположения штабелей), а также использование в форвардерах данных о продукции харвестеров (информация о продукции харвестера, слой маршрута на карте), что облегчает работу оператора форвардера (наглядно видны места заготовки сортиментных групп). Данная возможность способствует эффективному планированию маршрута, а также контролю и рациональному проведению лесосечных и лесовосстановительных работ, соблюдения требования лесной сертификации. [5]
2. Применение канатных трелевочных установок (МКТУ [6] и МКРТУ [7]) для разработки соответственно труднодоступных лесосек по рельефным условиям (холмисто-грядовые рельефы) и почвенно-грунтовым (заболоченные переувлажненные лесосеки).

Библиографический список

1. *PARTS CATALOG H480C Harvester Head*. PC10342 (B.4) (ENGLISH), USA, 2011, - 276 p.
2. *Проников А.С.* Технологическая надежность станков. – М.: Машиностроение, 1971. – 344с.
3. *Свойкин Ф.В.* Вопросы учета влияния климатических факторов на организацию транспортно-технологических процессов лесозаготовительного производства. Коваленко Т.В., Вохмянин Н.А., Свойкин Ф.В.. Опыт лесопользования в условиях Северо-Запада РФ и Фенноскандии : материалы международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию лесоинженерного факультета ПетрГУ. – Петрозаводск, 2011. – с. 15-16.
4. *Свойкин Ф.В.* Прогнозирование продолжительности периода разработки зимних лесосек в условиях Республики Коми. Григорьев И.В., Свойкин Ф.В.. Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Вып. 8. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. – С.34-37.

5. *Свойкин Ф.В.* Перспективное направление использования беспилотных воздушных комплексов в лесозаготовительном процессе. Акишин В.С., Свойкин Ф.В. Леса России в XXI веке. Материалы девятой международной научно-технической конференции. Сентябрь 2012г./ Под ред. авторов; Министерство образования и науки Российской Федерации ФГБОУ ВПО СПбГЛТУ имени С.М. Кирова. – СПб, 2012. – с. 42-48.
6. Григорьев И.В., Жукова А.И., Киселев Д.С., Иванов А.В., Григорьева О.И. Тыловая *мачта* для мобильной канатной трелевочной установки. Патент на полезную модель № 84181 опубл. 10.07.2009 Бюлл. № 19.
7. Григорьев И.В., Свойкин Ф.В., Никифорова А.И., Григорьева О.И., Хакина А.М. Канатно-рельсовая трелевочная установка. Патент на полезную модель № 113917 опубл. 10.03.2012 Бюлл. № 7.

Сведения об авторах

ФИО Свойкин Ф.В.
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 Свойкин В.Ф.
Организация Сыктывкарский лесной институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова"
Адрес организации 167982, ул. Ленина, д. 39, г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия
SPIN-код 7574-5519
e-mail Svoykinvf@mail.ru

ФИО Россихин К.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail krossihin@gmail.com

Аннотация

Тенденция современных лесозаготовок в СЗФО РФ - использование системы лесозаготовительных машин «ВСРМ + КС» на, соответственно, заготовке и первичной вывозке сортиментов. В статье предложены методы решения задачи выбора параметров надежности технологических процессов

лесозаготовок. Также уделено внимание использованию БПЛА и альтернативных источников первичного транспорта леса.

Ключевые слова: заготовка древесины, сортиментная технология, надежность технологических процессов лесозаготовок

УДК 625.8:630

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Оптимизация выбора технологии трелевки круглых лесоматериалов на лесосеках со слабой несущей способностью грунта. Концепция

Свойкин Ф.В, Бачериков И.В, Свойкин В.Ф.

Введение

Лесозаготовительные организации СЗФО РФ сталкиваются с проблемой затрудненности или невозможности заготовки и первичной вывозки древесины по почвенно-грунтовым и климатическим факторам [1]. Существующая техника и технология (хлыстовая и сортиментная) все затруднительнее к применению [2]. Невозможность применения существующей техники (рисунок 1) приводит к простоям, вынужденным ремонтам (в случае утопления), а также потери экономической эффективности фазы заготовки древесины.

Цель работы

Цель работы – разработать концепцию и план разработки программного обеспечения для оптимизации трелевки круглых лесоматериалов на лесосеках со слабой несущей способностью грунта.

Проблема

Стоит отметить, что порядка 30% (или 36 000 000 м³) древесины, возможных для заготовки, находятся на лесных площадях, относящихся к III и IV категории почвенно-грунтовым условиям (ПГУ) (таблица 1), расположенных в районах с существующей дорожной сетью, что делает их наиболее предпочтительными для заготовки (по сравнению с запасами древесины, находящихся на холмисто-рядовых рельефах).

Таблица 1.

Объемы заготовки древесины в РФ [3]

№ п/п	Наименование	Объем, млн. м ³
1	Расчетная лесосека	703
2	Расчетная лесосека (предельная)	340
3	Объем заготовки (в год)	220
4	Возможный объем заготовки на ПГУ III и IV кат.	36

Графически данные таблицы 1 приведены на рисунке 2.



Рис. 1. Невозможность применения существующей техники и технологии для заготовки древесины в СЗФО РФ из-за климатических условий

Решение

Для заготовки древесины на таких территориях могут быть предложены новые технические решения [4], а также усовершенствована уже имеющаяся техника.

Стоит отметить, что на данный момент были предложены методики по возможности захода и работе лесозаготовительной техники на лесосеках в летний и зимний заготовительные периоды [5], однако применение на практике таких методик пока затруднено или невозможно из-за отсутствия их реализации

на программном обеспечении на персональных компьютерах в кабине лесной техники. Несмотря на более чем вековую историю механизации лесозаготовок, по настоящее время заход техники осуществляется только экспериментальным путем. Если несущая способность грунтов позволяет, то техника осуществляет процесс заготовки и первичной вывозки древесины. В противном случае недостаточная для работы несущая способность ПГУ ведет к утоплению техники, что вызывает множество отрицательных моментов (простой, поломки, ремонт, упущенная выгода, убытки).

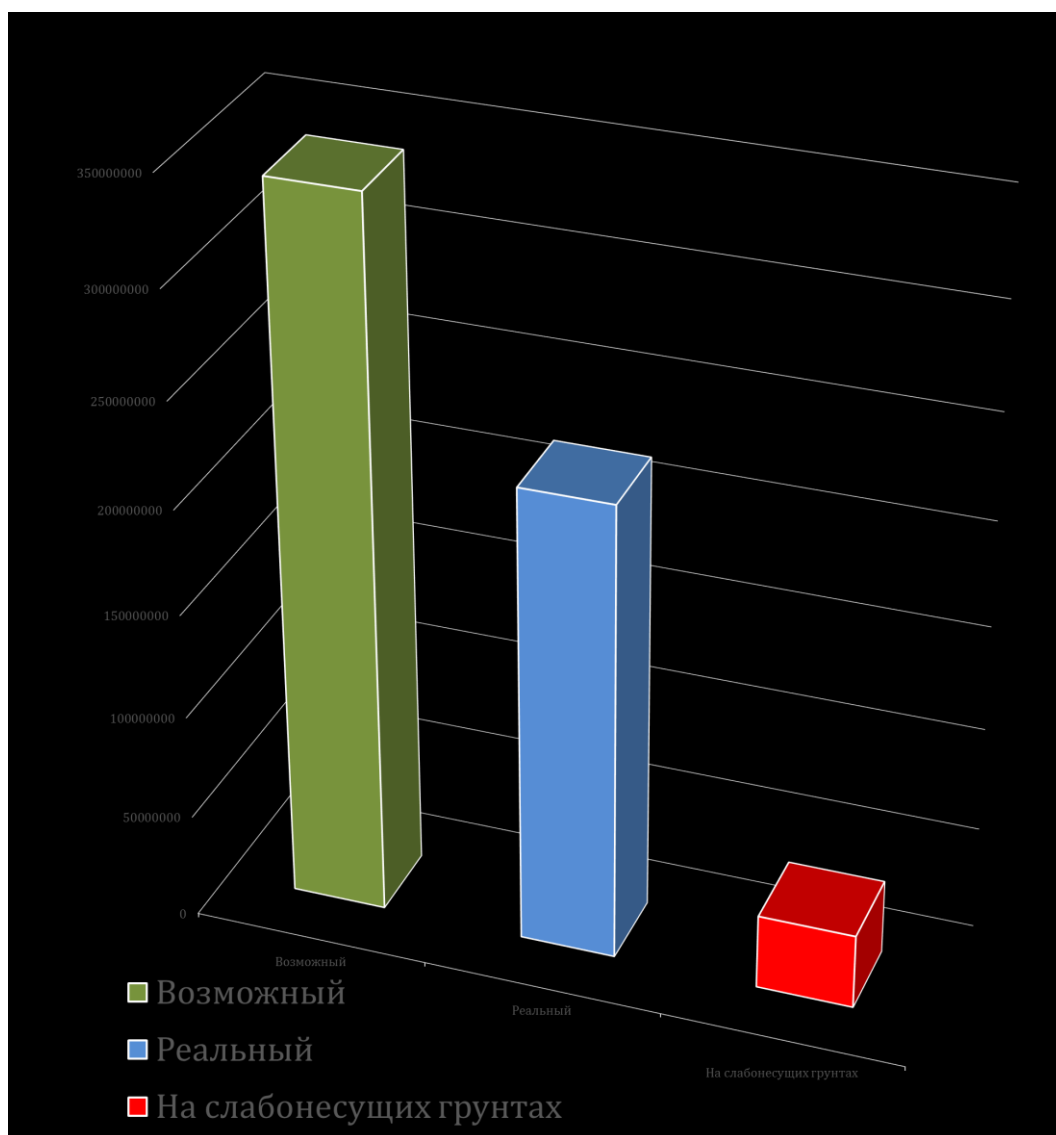


Рис. 2. Объемы заготовки древесины в РФ

Для существующей лесозаготовительной техники предлагается разработать программное обеспечение для решения задачи работы на таких территориях. Этапы разработки такого программного обеспечения должны включать:

1. Разработку методики расчета выбора технологии трелевки круглых лесоматериалов на лесосеках со слабонесущим грунтами.
2. Разработку математической модели принятия рациональных решений по обоснованию оптимального выбора технологии, оборудования и маршрутизации трелевки древесины на грунтах с малой несущей способностью.
3. Разработку программного обеспечения для решения оптимизационной задачи выбора технологии, оборудования и маршрутизации трелевки древесины на грунтах с малой несущей способностью.
4. Проведение вычислительного эксперимента.

Выводы

Итоговым результатом работы должно являться программное обеспечение, основанное на математической модели, записанной на языке программирования высокого уровня, для решения оптимизационной задачи выбора технологии, оборудования и маршрутизации трелевки древесины на грунтах с малой несущей способностью.

Библиографический список

1. *Коваленко Т.В.* / Вопросы учета влияния климатических факторов на организацию транспортно-технологических процессов лесозаготовительного производства. Опыт лесопользования в условиях Северо-Запада РФ и Фенноскандии / Т.В. Коваленко, Ф.В. Свойкин, Н.А. Вохмянин // материалы международной научно-технической конференции, посвященной 60-летию лесоинженерного факультета ПетрГУ. – Петрозаводск, 2011. С. 15–16.
2. *Свойкин Ф.В.* / Обоснование оптимальных технологических процессов лесозаготовок в условиях СЗФО РФ / Ф.В. Свойкин// Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка: материалы Международной научно-технической конференции молодых ученых и специалистов/ Под ред. авторов СПбГЛТУ – СПб: СПбГЛТУ, 2012. С.116–118.
3. *Свойкин, Ф.В.* Совершенствование технологического процесса лесозаготовок в условиях Северо-западного федерального округа Российской Федерации : специальность 05.21.01 «Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Свойкин Федор Владимирович ; Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет. – Санкт-Петербург, 2018. – 147 с.
4. *Григорьев И.В., Свойкин Ф.В., Григорьева О.И.* Транспортная система для сбора и трелевки древесины в условиях заболоченных лесосек // Транспортные и транспортно-технологические системы. 2016. С. 93-97.
5. *Свойкин Ф.В.* Прогнозирование продолжительности периода разработки зимних лесосек в условиях Республики Коми. / Ф.В. Свойкин, И.В. Григорьев // Труды лесоинженерного факультета ПетрГУ. Вып. 8. – Петрозаводск: Изд-во ПетрГУ, 2010. – С.34–37.
6. *Салминен, Э.О., Симоненков, М.В., Бачеринов, И.В.* Логистико-математическое моделирование транспортно-технологических операций - основное направление развития лесного комплекса В сборнике: Леса России: политика, промышленность, наука, образование. Материалы Второй международной научно-технической конференции. 2017. С. 84-87.

Сведения об авторах

ФИО Свойкин Ф.В.
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 Бачериков Иван Викторович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7210-3600
e-mail ivashka512@gmail.com

ФИО Свойкин В.Ф.
Организация Сыктывкарский лесной институт (филиал) Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования "Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова"
Адрес организации 167982, ул. Ленина, д. 39, г. Сыктывкар, Республика Коми, Россия
SPIN-код 7574-5519
e-mail Svoykinvf@mail.ru

Аннотация

Приведен анализ проблем заготовки древесины в СЗФО РФ. Рассмотрены варианты решения задачи доступа к лесным ресурсам. Предложено решение для минимизации воздействия на почву при трелевке леса в условиях слабонесущих грунтов. Обозначены основные параметры предлагаемого решения.

Ключевые слова: заготовка древесины, переувлажненные заболоченные лесосеки, грунты малой несущей способности

УДК 625.8:630

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01

Линейные функции коэффициентов сопротивления движению и сцепления движителей лесных машин с грунтом

Хитров Е.Г., Ильюшенко Д.А., Ермакова Е.К.

Введение

В практических расчетах для оценки тягово-сцепных свойств движителей лесных машин используют коэффициенты сопротивления движению и сцепления с грунтом [1,2]. Коэффициенты, как правило, считаются постоянными величинами, зависящими от начальных свойств опорной поверхности и типа движителя [1-3]. Вместе с тем, физическая картина взаимодействия движителей машин с грунтами предполагает изменение состояния опорной поверхности, срез, осадку и уплотнение [4-6]. Развитие осадки грунта по мере увеличения давления на грунт носит нелинейный характер, таким образом, объем деформируемого грунта увеличивается непропорционально давлению [4-6], следовательно, коэффициент сопротивления движению не является постоянной величиной. Возможный срез грунта приводит к снижению сопротивления сдвиговой деформации [4-6], следовательно, коэффициент сцепления также не является постоянной величиной.

Цель нашей статьи – выявить взаимосвязи тягово-сцепных свойств и давления движителя на грунт, получить зависимости коэффициентов сопротивления движению и сцепления от давления движителя на опорную поверхность и ее механических свойств.

Постановка задачи.

Коэффициент сопротивления движению является частным силы сопротивления и нагрузки со стороны движителя [4,6]:

$$\varphi_R = \frac{F_R}{pbl}, \quad (1)$$

где F_R – сила сопротивления движению, p – нормальное давление со стороны движителя, b – ширина пятна контакта, l – длина пятна контакта.

Сила сопротивления грунта определяется интегрированием зависимости давления p от глубины колеи h [4,6]:

$$F_R = b \int_0^h p dh \quad (2)$$

Уравнение осадки опорной поверхности (глубины колеи), учитывающее сжатие и сдвиг слоев грунта при вдавливании движителя, а также реологические свойства грунта, имеет вид [7,8]:

$$h = \frac{Jpabp_s K}{\sqrt{(p_s - p)(p_s - (JKp_s + 1)p)}} \operatorname{arctg} \frac{(p_s - p)(H - h)}{ab\sqrt{(p_s - p)(p_s - (JKp_s + 1)p)}}, \quad (3)$$

где p – нормальное давление движителя на грунт, p_s – несущая способность опорной поверхности, H – толщина деформируемого слоя, K – жесткость опорной поверхности, J, a – вспомогательные параметры, учитывающие соотношение сторон пятна контакта [4]:

$$J = \frac{0,03b + l}{0,6b + 0,43l}, \quad a = 0,64 \frac{b + H}{H}, \quad (4)$$

Жесткость K определяется реологической моделью опорной поверхности. Получили распространение несколько реологических моделей грунта (модель Гука, Максвелла, Кельвина-Фойгта, Максвелла-Томпсона (Гогенемзера-Прагера), Пойнтинга-Томпсона, Летерзиха, Бюргерса, Бингама-Шведова, Бингама, Шведова). Иллюстрации результатов расчетов выполнены для модели Максвелла-Томпсона [7,8]:

$$K = \frac{E + E_d}{EE_d} - \frac{1}{E_d} \exp\left(-\frac{E_d t}{\eta}\right), \quad (5)$$

где E – модуль деформации, E_d – модуль длительной деформации, η – вязкость грунта, t – время воздействия движителя [4]:

$$t = n \frac{l}{v}, \quad (6)$$

где n – число последовательных проходов движителя по колее, v – поступательная скорость машины.

Несущая способность опорной поверхности определяется по формулам В.В. Ларина [5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_s = p_{s0} \alpha_z \\ p_{s0} = 0,5K_1 N_1 \gamma b + N_2 \gamma h + K_3 N_3 C \\ K_1 = \frac{l}{l + 0,4b}; K_3 = \frac{l + b}{l + 0,5b} \\ N_1 = \frac{1 - S_\varphi^4}{S_\varphi^5}; N_2 = \frac{1}{S_\varphi^2}; N_3 = \frac{2(1 + S_\varphi^2)}{S_\varphi^3}; S_\varphi = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2}\right) \\ \alpha_z = 1 + \frac{h \frac{\sqrt{2}}{2} \exp\left[\left(\frac{\pi}{4} + \frac{3\varphi}{4}\right) \operatorname{tg} \frac{3\varphi}{4}\right] b \cos \frac{3\varphi}{4} \operatorname{tg} \varphi}{2H \cdot \left(H - h - 0,25 \frac{\sqrt{2}}{2} \exp\left[\left(\frac{\pi}{4} + \frac{3\varphi}{4}\right) \operatorname{tg} \frac{3\varphi}{4}\right] b \cos \frac{3\varphi}{4} \operatorname{tg} \varphi\right)} \end{array} \right. \quad (7)$$

где C – удельное сцепление грунта, φ – угол внутреннего трения, γ – удельный вес грунта.

Коэффициент сцепления является частным максимального сопротивления грунта сдвигу и нормальной нагрузки на грунт [7,8]:

$$\mu = \frac{\tau_t}{p} \quad (10)$$

где τ_t – среднее значение касательного напряжения, распределенного по длине контакта.

Среднее значение касательного напряжения, распределенного по длине контакта, найдем по формуле [8]:

$$\tau_t = \frac{1}{l} \left\{ \frac{G^2 (Cj_0 + \tau_{m0} t_{gr})^2}{St_{gr} (C - G)^3} \ln \frac{SGl + \tau_{m0} t_{gr} - (lS - j_0)C}{Gj_0 + \tau_{m0} t_{gr}} + \frac{\tau_{m0}^2 t_{gr}}{SG} \ln \frac{SGl + \tau_{m0} t_{gr}}{Gj_0 + \tau_{m0} t_{gr}} + \frac{(G^2 (-lS + j_0) + ((lS + j_0)C + 4\tau_{m0} t_{gr})G - 2\tau_{m0} t_{gr} C)(lS - j_0)C}{2St_{gr} (C - G)^2} \right\} \text{Heaviside} \left(l - \frac{j_0}{S} \right) - \frac{\tau_{m0}^2 t_{gr}}{GSl} \ln \frac{SGl + \tau_{m0} t_{gr}}{\tau_{m0} t_{gr}} + \tau_{m0} \quad (11)$$

где G – модуль сдвига грунта, t_{gr} – шаг грунтозацепов, S – коэффициент буксования, $\text{Heaviside}(\dots)$ – единичная функция Хевисайда:

$$\begin{cases} \text{Heaviside}(\xi) = 1, \xi \geq 0 \\ \text{Heaviside}(\xi) = 0, \xi < 0 \end{cases} \quad (12)$$

j_0 – деформация сдвига, при которой возникает срез опорной поверхности [4]:

$$j_0 = \frac{\tau_{m0} t_{gr}}{G} \left(\sqrt{\frac{G}{C}} - 1 \right) \quad (13)$$

где τ_{m0} – максимальное сопротивление сдвигу без учета возможного среза опорной поверхности [4]:

$$\tau_{m0} = p \operatorname{tg} \varphi + C \quad (14)$$

Результаты расчета.

Выполним расчеты для трех категорий прочности лесного грунта, физико-механические свойства которого указаны в таблице 1. Расчеты выполнены для трех типов движителя лесных машин (колесного, колесно-гусеничного и гусеничного) с характеристиками, указанными в таблице 2.

При заданных характеристиках лесного грунта и параметрах пятна контакта проводили расчет при варьировании давления p в пределах от 0 до p_{\max} с шагом $1/100p_{\max}$. Для каждого значения давления p определяли h как численное решение уравнения (3), коэффициент сопротивления движению по формуле (1) находили по результатам интегрирования методом трапеций зависимости (2). Для каждого значения p численно определяли максимум

функции (11) в зависимости от коэффициента буксования S . Результаты расчетов представлены на рисунках 1 – 3.

Таблица 1.

Физико-механические свойства лесного грунта по категориям прочности [6]

Параметр	Разм.	III (слабонесущий)	II (средней прочности)	I (прочный)
E	МПа	0,4	1	3
E_δ	МПа	0,4	1	3
G	МПа	2,192	2,44	2,77
η	МПа·с	1,343	7,8	64,29
C	МПа	0,005	0,012	0,024
φ	°	11	15	16
γ	МН/м ³	0,0075	0,0085	0,0095
H	м	0,8	0,4	0,3

Таблица 2.

Характеристики движителей лесных машин

Параметр	Разм.	колесный	колесно-гусеничный	гусеничный
b	м	0,7	0,7	0,6
l	м	0,667	2,366	6
p_{\max}	МПа	0,14	0,08	0,07

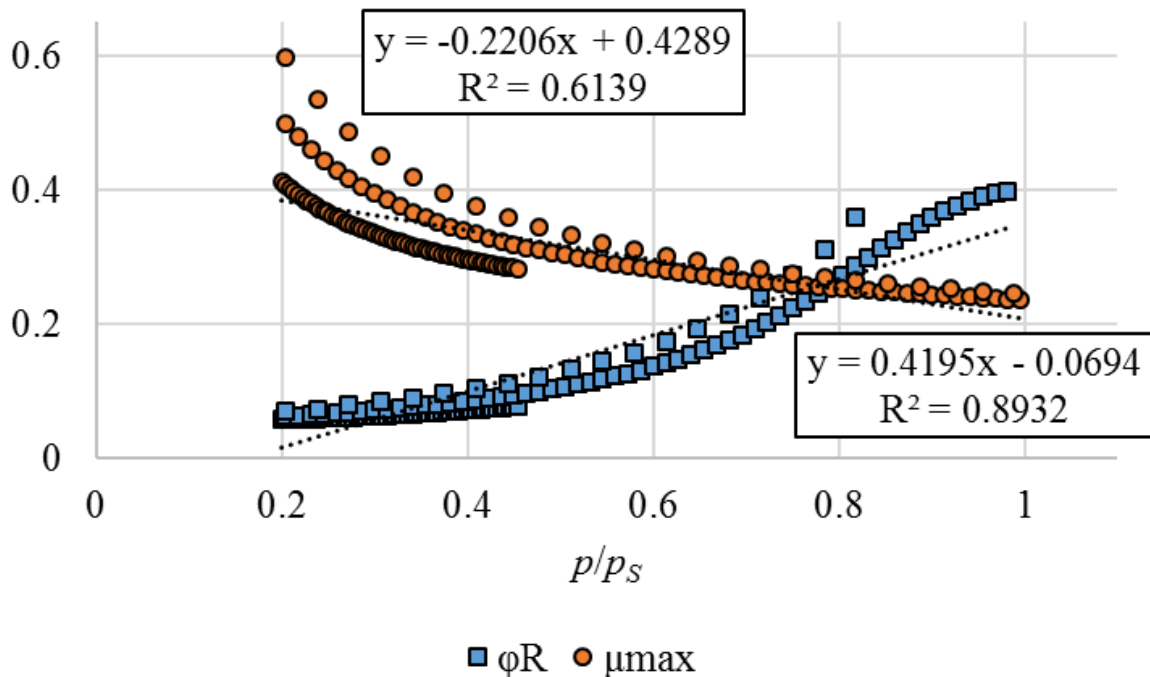


Рис. 1. Коэффициент сопротивления движению и максимальный коэффициент сцепления колесного движителя с лесным грунтом

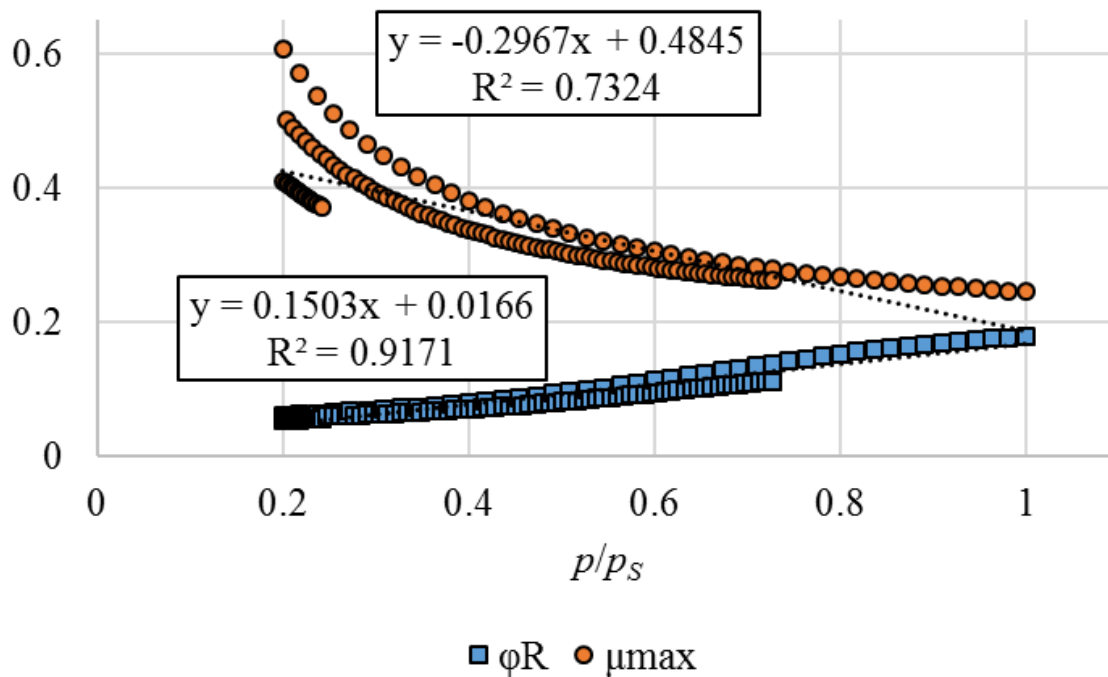


Рис. 2. Коэффициент сопротивления движению и максимальный коэффициент сцепления колесно-гусеничного движителя с лесным грунтом

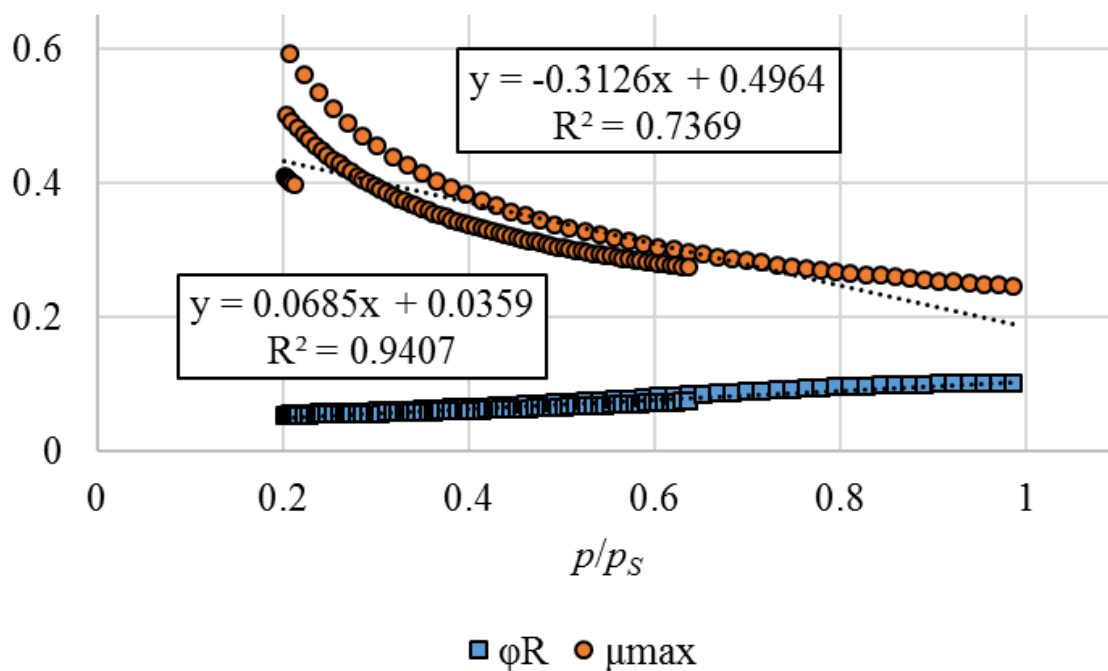


Рис. 3. Коэффициент сопротивления движению и максимальный коэффициент сцепления гусеничного движителя с лесным грунтом

Обработка полученных расчетных данных показала, что коэффициенты сопротивления движению и сцепления с точностью, достаточной для практических расчетов, описываются линейными функциями соотношения давления движителя и несущей способности лесного грунта:

$$\varphi_R = a_{\varphi R} + b_{\varphi R} \frac{P}{P_S}, \quad (15)$$

$$\mu_{\max} = a_{\mu} + b_{\mu} \frac{P}{P_S}, \quad (16)$$

Значения параметров a , b приведены в таблице 3.

Таблица 3.

Параметры линейных функций
коэффициентов сопротивления движению и сцепления

Параметр	колесный	колесно-гусеничный	гусеничный
$a_{\varphi R}$	-0,0694	0,0166	0,0359
$b_{\varphi R}$	0,4195	0,1503	0,0685
a_{μ}	0,4289	0,4845	0,4964
b_{μ}	-0,2206	-0,2967	-0,3126

Библиографический список

1. Кочегаров, В.Г. Технология и машины лесосечных работ / В. Г. Кочегаров, Ю. А. Бит, В. Н. Меньшиков. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 390 с.
2. Шегельман, И.Р. Техническое оснащение современных лесозаготовок / И.Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, О.Н. Галактионов. - СПб: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005. - 344 с.
3. Кочнев, А.М. Теория движения колесных трелевочных систем / А.М. Кочнев. - СПб: из-во Политехнического университета, 2007. - 612 с.
4. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. - М.: Машиностроение, 1981. - 232 с.
5. Ларин, В.В. Методы прогнозирования опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Ларин Василий Васильевич. - М., 2007. - 530 с.
6. Хитров, Е.Г. Повышение эффективности трелевки обоснованием показателей работы лесных машин при оперативном контроле свойств почвогрунта: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Хитров Егор Германович. - СПб, 2015. - 153 с.
7. Хитров, Е.Г. Сравнение показателей взаимодействия с грунтом и проходимости колесных и колесно-гусеничных движителей / Е.Г. Хитров, Е.В. Котенев // Resources and Technology. - 2019. - Т. 16. № 4. - С. 1-24.
8. Хитров, Е.Г. Анализ составляющих глубины колеи, образующейся под воздействием движителя лесной машины на почвогрунт / Е.Г. Хитров // Resources and Technology. - 2019. - Т. 16. № 4. - С. 76-93.

Сведения об авторах

ФИО Хитров Егор Германович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4663-5944
e-mail yegorkhitrov@gmail.com

ФИО Ильюшенко Дмитрий Александрович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5284-5940
e-mail dilium@yandex.ru

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

Аннотация

В статье выявлены взаимосвязи тягово-сцепных свойств и давления движителей лесных машин на грунт. На основе результатов выполненных расчетов получены зависимости коэффициентов сопротивления движению и сцепления от давления движителя на опорную поверхность и ее механических свойств, характеризующихся несущей способностью, для трех типов движителей: колесных, колесно-гусеничных и гусеничных.

Ключевые слова: движители лесных машин, давление на грунт, тягово-сцепные свойства, линейные функции

УДК 630

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19

Оценка сопротивления грунта повороту движителя лесной машины

Хитров Е.Г., Ильюшенко Д.А., Ермакова Е.К.

Введение

При повороте лесных машин, движущихся по деформируемому лесному грунту, возникают силы сопротивления повороту, что, в ряде случаев, приводит к потере проходимости либо подвижности техники [1-3]. Теория поворота транспортных средств не закончена, известны различные подходы к описанию процессов, происходящих при повороте машин [1-3]. Цель нашей работы – представить зависимости для расчета коэффициента сопротивления повороту движителя лесной машины, основанные на решении задачи о вдавливании штампа в массив грунта с неограниченной толщиной деформируемого слоя.

Результаты исследования

Для расчета напряжений, возникающих при повороте движителя, рассмотрим схему, представленную на рисунке 1.

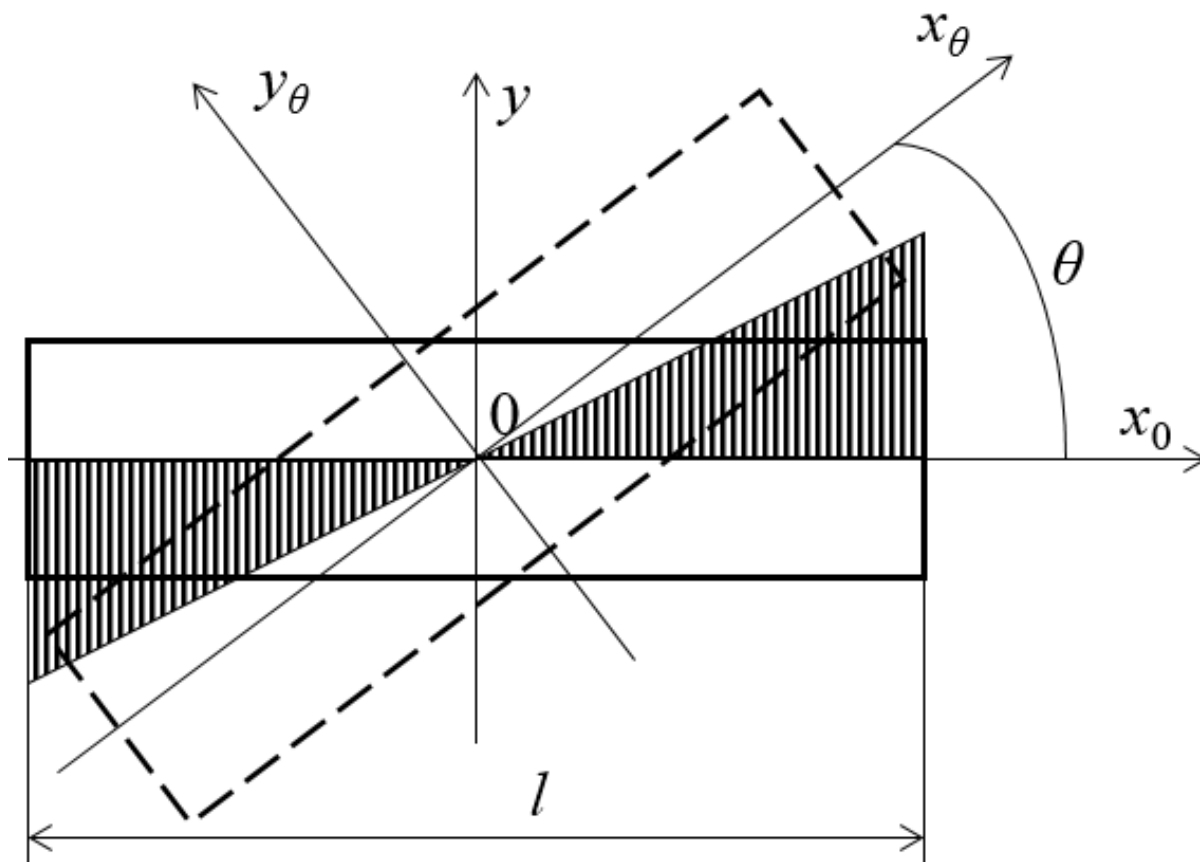


Рис. 1. Схема к расчету составляющих напряжения при повороте движителя

Поворот движителя на угол θ в горизонтальной плоскости приводит к возникновению деформаций грунта, которые будем считать заданными траекторией поворота движителя. Как следствие деформаций, в массиве грунта возникают дополнительные напряжения. Эти напряжения нормальны по отношению к боковине формирующейся колеи и касательны по отношению к ее днищу.

Давление q_θ , действующее на грунт по нормали к боковинам колеи, найдем на основе формул осадки грунта под воздействием штампа [4,5]:

$$h = \frac{Jrabp_s K}{\sqrt{(p_s - p)(p_s - (JKp_s + 1)p)}} \operatorname{arctg} \frac{(p_s - p)(H - h)}{ab\sqrt{(p_s - p)(p_s - (JKp_s + 1)p)}}, \quad (1)$$

$$h = \frac{Jrabp_s K}{\sqrt{p_s((1 - JKp)p_s - Jp)}} \operatorname{arctg} \frac{p_s(H - h)}{ab\sqrt{p_s((1 - JKp)p_s - Jp)}}, \quad (2)$$

где K – жесткость грунта, p – нормальное давление, b – ширина пятна контакта, J , a – параметры, учитывающие геометрию пятна контакта, p_s – несущая способность грунта, в которой толщина деформируемого слоя считается

бесконечной, $H \rightarrow 0$, несущая способность соответствует несущей способности слоя грунта неограниченной мощности и обозначена $p_{s\theta}$, а ширина пятна контакта соответствует глубине колеи h . Абсолютное значение деформации грунта по нормали к боковине колеи обозначим T . На основании формулы (1):

$$T = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{J_{\theta} q_{\theta} a_{\theta} h p_{s\theta} K}{\sqrt{(p_{s\theta} - q_{\theta})(p_{s\theta} - q_{\theta}(J_{\theta} K p_{s\theta} + 1))}}, \quad (3)$$

При использовании выражения (2) получим:

$$T = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{J_{\theta} q_{\theta} a_{\theta} h p_{s\theta} K}{\sqrt{p_{s\theta}((1 - J_{\theta} K q_{\theta}) p_{s\theta} - J q_{\theta})}}. \quad (4)$$

Решение уравнения (3) относительно давления q_{θ} имеет вид:

$$q_{\theta} = \frac{-2J_{\theta} K p_{s\theta}^2 T^2 - 4T^2 p_{s\theta} + 2J_{\theta} K p_{s\theta}^2 T \sqrt{\pi^2 a_{\theta}^2 h^2 + T^2}}{\pi^2 J_{\theta}^2 K^2 a_{\theta}^2 h^2 p_{s\theta}^2 - 4J_{\theta} K p_{s\theta} T^2 - 4T^2}. \quad (5)$$

Решив относительно q_{θ} уравнение (4), получим:

$$q_{\theta} = \frac{-2K p_{s\theta} T^2 - 2T^2 + 2T \sqrt{\pi^2 K^2 a_{\theta}^2 h^2 p_{s\theta}^2 + K^2 T^2 p_{s\theta}^2 + 2K p_{s\theta} T^2 + T^2}}{\pi^2 J_{\theta} K^2 a_{\theta}^2 h^2 p_{s\theta}}. \quad (6)$$

причем, по аналогии с [1], параметр J_{θ} определяется выражением:

$$J_{\theta} = \frac{0,03h + l}{0,6h + 0,43l}, \quad (7)$$

а параметр a_{θ} при $H \rightarrow 0$ равен 0,64 по [2], несущая способность $p_{s\theta}$ определяется системой уравнений [2]:

$$\left\{ \begin{array}{l} p_{s\theta} = 0,5K_{1\theta} B_{1\theta} N_1 \gamma h + N_2 \gamma \bar{T} + K_{3\theta} B_{3\theta} N_3 C \\ K_{1\theta} = \frac{l}{l + 0,4h}; K_{3\theta} = \frac{l + h}{l + 0,5h} \\ B_{1\theta} = \frac{\pi - 4\theta \operatorname{tg} \varphi}{\pi + 4\theta \operatorname{tg} \varphi}; B_{3\theta} = \frac{3\pi - 2\theta}{3\pi + 2\theta} \\ N_1 = \frac{1 - S_{\varphi}^4}{S_{\varphi}^5}; N_2 = \frac{1}{S_{\varphi}^2}; N_3 = \frac{2(1 + S_{\varphi}^2)}{S_{\varphi}^3}; S_{\varphi} = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\varphi}{2} \right) \end{array} \right. \quad (8)$$

где \bar{T} – среднее значение боковой деформации грунта.

При заданном угле поворота по схеме на рисунке 1 получим оценку максимального значения деформации T :

$$T_{\max} = l \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, \quad (9)$$

тогда, пренебрегая боковыми деформациями движителя, запишем выражение для деформации T по оси x_0 :

$$T = 2x_0 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, \quad (10)$$

Среднее значение деформации, используемое в формулах (8), определим по уравнению:

$$\bar{T} = \frac{l}{2} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}. \quad (11)$$

Силу сопротивления повороту движителя определим интегрированием одного из выражений (5), (6):

$$F_\theta = 2h \int_0^{\frac{l}{2}} q_\theta(T) dx_0, \quad (12)$$

Отметим, что при $T = \text{const}$ и $\theta = 0$ на основе формулы (12) получаем выражение для силы сопротивления грунта скольжению движителя поперек направлению движения в горизонтальной плоскости F_T , что имеет место, например, при потере курсовой устойчивости машины на склоне:

$$F_T = hlq_\theta, \quad (13)$$

В результате интегрирования (12) при q_θ по формуле (5) получим выражение:

$$F_\theta = 2p_{s\theta} h \cdot \frac{\left((Kp_{s\theta} + 1)^2 l^2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + \lambda \right)^{\frac{3}{2}} - \lambda^{\frac{3}{2}} - (Kp_{s\theta} + 1)^3 l^3 \operatorname{tg}^3 \frac{\theta}{2}}{3\lambda J_\theta (Kp_{s\theta} + 1)^2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}, \quad (14)$$

где обозначено $\lambda = \pi^2 K^2 a_\theta^2 h^2 p_{s\theta}^2$.

Интегрирование (5) при q_θ по формуле (6) приводит к получению зависимости:

$$F_\theta = p_s \cdot \left\{ \frac{c_2(c_1^4 - 1)}{8c_1^3} \ln c_3 + \frac{l}{2} \left(1 + \frac{1}{c_1^2} \right) + \frac{c_2 - \sqrt{c_2^2 + l^2}}{2} \left(1 - \frac{1}{c_1^2} \right) \right\}, \quad (15)$$

$$\text{где } c_1 = \sqrt{J_\theta K p_{s\theta} + 1}, \quad c_2 = \frac{\pi a_\theta h}{2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}}, \quad c_3 = \frac{(c_1 - 1)^2 (c_1^2 c_2 - c_2 - c_1 l) (c_1^2 c_2 + c_2 + c_1 \sqrt{4c_2^2 + l^2})}{(c_1 + 1)^2 (c_1^2 c_2 - c_2 + c_1 l) (c_1^2 c_2 + c_2 - c_1 \sqrt{4c_2^2 + l^2})}.$$

При принятых предпосылках к описанию воздействия движителя на боковины колеи, получим выражение для дополнительных составляющих касательного напряжения, вызванных боковыми деформациями грунта при повороте движителя, разделив силу F_θ на площадь контакта. На основании формулы (14) запишем:

$$\tau_{\theta} = \frac{2p_{s\theta}}{l} \cdot \frac{\left((Kp_{s\theta} + 1)^2 l^2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} + \lambda \right)^{\frac{3}{2}} - \lambda^{\frac{3}{2}} - (Kp_{s\theta} + 1)^3 l^3 \operatorname{tg}^3 \frac{\theta}{2}}{3\lambda J_{\theta} (Kp_{s\theta} + 1)^2 \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}} \quad (16)$$

При использовании формулы (15) получим:

$$\tau_{\theta} = \frac{p_{s\theta}}{bl} \cdot \left\{ \frac{c_2(c_1^4 - 1)}{8c_1^3} \ln c_3 + \frac{l}{2} \left(1 + \frac{1}{c_1^2} \right) + \frac{c_2 - \sqrt{c_2^2 + l^2}}{2} \left(1 - \frac{1}{c_1^2} \right) \right\} \quad (17)$$

Расчет по формулам (16), (17) приводит к получению результатов, близких по значению.

Коэффициент сопротивления повороту определим по формуле:

$$\varphi_{R\theta} = \frac{\tau_{\theta}}{q} \quad (18)$$

На рис. 2 представлены примеры результатов расчета, выполненного при $b = 0,7$ м, $l = 0,665$ м, $h = 0,2$ м, $q = 0,1$ МПа, $K = 1$ МПа⁻¹, $C = 0,01$ МПа, $\varphi = 14^{\circ}$ (колесный движитель лесной машины при работе на почвогрунте II категории прочности [3-5]).

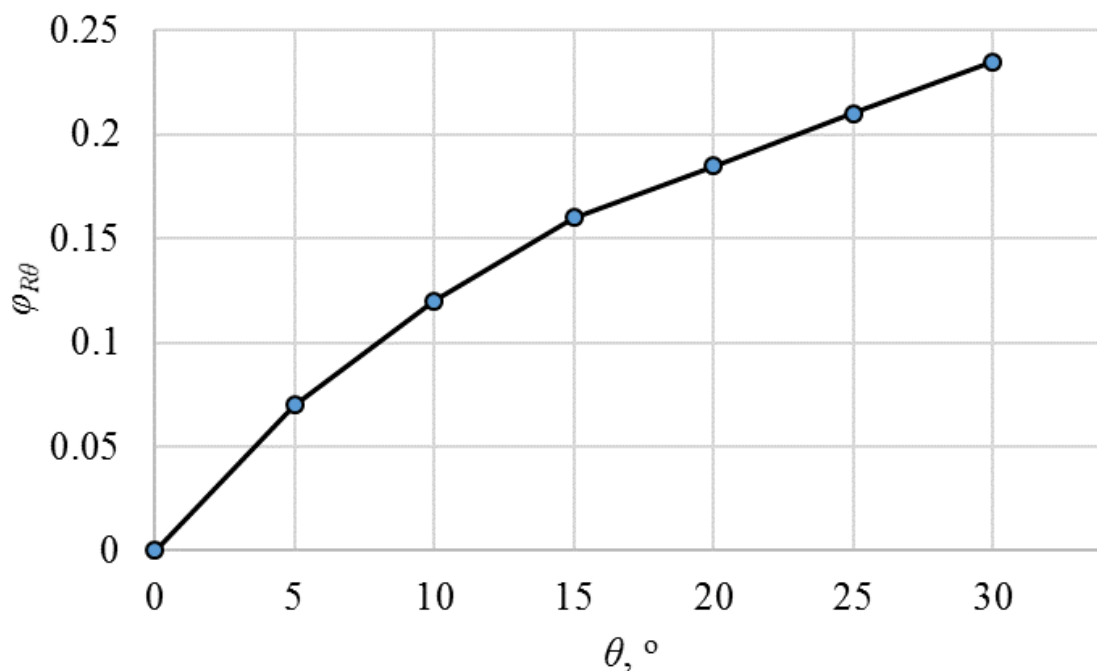


Рис. 2. Коэффициент сопротивления повороту колесного движителя в зависимости от угла поворота (лесной почвогрунт II категории прочности)

Более строгие результаты получаются при использовании значения глубины колеи h , полученного в результате решения уравнений (1), (2) в зависимости от давления p , а также при уточнении длины пятна контакта l по [5].

Библиографический список

1. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. - М.: Машиностроение, 1981. - 232 с.
2. Ларин, В.В. Методы прогнозирования опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Ларин Василий Васильевич. - М., 2007. - 530 с.
3. Хитров, Е.Г. Повышение эффективности трелевки обоснованием показателей работы лесных машин при оперативном контроле свойств почвогрунта: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Хитров Егор Германович. - СПб, 2015. - 153 с.
4. Хитров, Е.Г. Анализ составляющих глубины колеи, образующейся под воздействием движителя лесной машины на почвогрунт / Е.Г. Хитров // Resources and Technology. - 2019. - Т. 16. № 4. - С. 76-93.
5. Хитров, Е.Г. Сравнение показателей взаимодействия с грунтом и проходимости колесных и колесно-гусеничных движителей / Е.Г. Хитров, Е.В. Котенев // Resources and Technology. - 2019. - Т. 16. № 4. - С. 1-24.

Сведения об авторах

ФИО	Хитров Егор Германович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4663-5944
e-mail	yegorkhitrov@gmail.com
ФИО	Ильюшенко Дмитрий Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5284-5940
e-mail	dilium@yandex.ru
ФИО	Ермакова Е.К.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	ermakovaalya@gmail.com

Аннотация

В статье представлены зависимости для расчета коэффициента сопротивления повороту движителя лесной машины, основанные на решении

задачи о вдавливании штампа в массив грунта с неограниченной толщиной деформируемого слоя.

Ключевые слова: поворот движителя, слой грунта неограниченной толщины, подвижность, проходимость техники

УДК 630

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19

Расчет допустимого веса пачки трелюемых лесоматериалов с учетом переменных коэффициентов сопротивления движению и сцепления

Хитров Е.Г., Ильюшенко Д.А., Ермакова Е.К.

Введение

Одним из основных факторов, влияющих на производительность трелевки древесины, является объем пачки трелюемых лесоматериалов [1,2]. Объем древесины определяется расчетным весом пачки, а также долей веса, приходящегося на кору и крону [1,2]. При этом допустимый вес пачки лесоматериалов ограничен грузоподъемностью техники, силой тяги по сцеплению, сцеплением движителя с опорной поверхностью [1,2] и, реже, глубиной образующейся колеи [3]. Грузоподъемность является паспортной характеристикой машины и принимается как входной параметр при расчете. Ограничение по глубине колеи учитывается при необходимости обеспечить экологическую безопасность трелевки, математические модели для расчета глубины колеи рассмотрены в [3,4]. Для расчета веса пачки, ограниченного силой тяги и сцеплением, решается уравнение равномерного движения трелевочной системы, в котором сопротивление движению и сцепление определяются с использованием безразмерных коэффициентов, зависящих от состояния опорной поверхности и типа движителя машины [1,2,5]. Ранее было показано, что силы сопротивления и сцепления зависят не только от свойств грунта и движителя, но и от показателей воздействия движителя на грунт [3,4]. При увеличении удельного давления движителя на опорную поверхность происходит сжатие грунта, развивается его осадка; за счет касательной нагрузки при движении машины развиваются сдвиговые деформации, вплоть до среза и фрезерования грунта [6-8]. На практике эти явления учитываются редко, что приводит к снижению точности расчета.

Цель нашей статьи – представить уточненные зависимости для расчета допустимого веса пачки лесоматериалов с учетом зависимостей сопротивления движению и сцепления с грунтом от удельного давления по пятну контакта движителя с опорной поверхностью.

Основные результаты

Уравнение равномерного движения трелевочной системы имеет вид [2]:

$$F_{\kappa} = (P + KQ)\varphi_{R,mp} \cos \beta + (1 - K)Q\varphi_{R,n} \cos \beta + (P + KQ)\sin \beta + (1 - K)Q\sin \beta, \quad (1)$$

где F_{κ} – касательная сила тяги, P – вес лесной машины, Q – вес трелеваемых лесоматериалов, K – доля веса пачки лесоматериалов, приходящаяся на машины, β – угол наклона трелевочного волока, $\varphi_{R,mp}$ – коэффициент сопротивления движению машины, $\varphi_{R,n}$ – коэффициент сопротивления волочению пачки лесоматериалов.

Равномерное поступательное движение обеспечивается при соблюдении двух условий [2]:

$$F_{\kappa} \leq F_m, \quad (2)$$

$$F_{\kappa} \leq F_{cu}, \quad (3)$$

где F_m – максимальное тяговое усилие лесной машины, F_{cu} – сила сцепления движителя машины с грунтом.

Максимальное тяговое усилие является характеристикой машины (входной параметр), сила сцепления определяется по формуле [2]:

$$F_{cu} = (P + KQ)\mu, \quad (4)$$

где μ – коэффициент сцепления движителя с грунтом.

Ориентируясь на [3,4], примем, что коэффициенты сопротивления и сцепления зависят от соотношения удельного давления на грунт и его несущей способности:

$$\varphi_{R,mp} = a_{\varphi R,mp} + b_{\varphi R,mp} \frac{P}{p_s}, \quad (5)$$

$$\varphi_{R,n} = a_{\varphi R,n} + c_{\varphi R,n} \frac{(1 - K)Q}{p_s}, \quad (6)$$

$$\mu = a_{\mu} + b_{\mu} \frac{P}{p_s}, \quad (7)$$

где p – удельное давление на грунт, p_s – несущая способность грунта, $a_{\varphi R,mp}$, $b_{\varphi R,mp}$, $a_{\varphi R,n}$, $c_{\varphi R,n}$ [м⁻²], a_{μ} , b_{μ} – числовые коэффициенты.

Удельное давление определяется по формуле:

$$p = \frac{P + (1 - K)Q}{A}, \quad (8)$$

где A – общая площадь пятна контакта с грунтом.

С учетом выражений (1), (5)-(8), максимальный вес лесоматериалов, ограниченный условием (2), определим по формуле:

$$Q = \frac{-X_2 + \sqrt{-4X_1X_3 + X_2^2}}{2X_1} \quad (9)$$

где X_1, X_2, X_3 – вспомогательные обозначения:

$$X_1 = \frac{K^2 b_{\varphi R, mp} + (K-1)^2 c_{\varphi, n} A}{p_S A} \cos \beta \quad (10)$$

$$X_2 = \frac{((K(a_{\varphi R, mp} - a_{\varphi R, n}) + a_{\varphi R, n}) p_S A + 2KP b_{\varphi R, mp}) \cos \beta + p_S A \sin \beta}{p_S A} \quad (11)$$

$$X_3 = \frac{a_{\varphi R, mp} p_S A + b_{\varphi R, mp} P}{p_S A} P \cos \beta + P \sin \beta - F_m \quad (12)$$

Для горизонтального волокна формулы (10) – (12) упрощаются:

$$X_1 = \frac{K^2 b_{\varphi R, mp} + (K-1)^2 c_{\varphi, n} A}{p_S A} \quad (13)$$

$$X_2 = \frac{((K(a_{\varphi R, mp} - a_{\varphi R, n}) + a_{\varphi R, n}) p_S A + 2KP b_{\varphi R, mp})}{p_S A} \quad (14)$$

$$X_3 = \frac{a_{\varphi R, mp} p_S A + b_{\varphi R, mp} P}{p_S A} P - F_m \quad (15)$$

При трелевке в полностью погруженном состоянии получим:

$$X_1 = \frac{b_{\varphi R, mp}}{p_S A} \cos \beta \quad (16)$$

$$X_2 = \frac{(a_{\varphi R, mp} p_S A + 2P b_{\varphi R, mp}) \cos \beta + p_S A \sin \beta}{p_S A} \quad (17)$$

$$X_3 = \frac{a_{\varphi R, mp} p_S A + b_{\varphi R, mp} P}{p_S A} P \cos \beta + P \sin \beta - F_m \quad (18)$$

В случаях, когда трелевка происходит по горизонтальному волоку в полностью погруженном состоянии, получим:

$$X_1 = \frac{b_{\varphi R, mp}}{p_S A} \quad (19)$$

$$X_2 = \frac{a_{\varphi R, mp} p_S A + 2P b_{\varphi R, mp}}{p_S A} \quad (20)$$

$$X_3 = \frac{a_{\varphi R, mp} p_S A + b_{\varphi R, mp} P}{p_S A} P - F_m \quad (21)$$

С учетом выражений (1), (4)-(8), максимальный вес лесоматериалов, ограниченный сцеплением по условию (3), определим по формуле:

$$Q = \frac{-Z_2 + \sqrt{-4Z_1Z_3 + Z_2^2}}{2Z_1} \quad (22)$$

где Z_1, Z_2, Z_3 – вспомогательные обозначения:

$$Z_1 = \frac{(K^2(b_{\varphi R, mp} + c_{\varphi R, n}A) - 2Kc_{\varphi, n}A + c_{\varphi R, n}A)\cos\beta - K^2b_{\mu}}{p_S A} \quad (23)$$

$$Z_2 = \frac{((K(a_{\varphi R, mp} - a_{\varphi R, n}) + a_{\varphi R, n})p_S A + 2KPb_{\varphi R, mp})\cos\beta - Ka_{\mu}p_S A - 2KPb_{\mu} + p_S A\sin\beta}{p_S A} \quad (24)$$

$$Z_3 = \frac{a_{\varphi R, mp}p_S A + b_{\varphi R, mp}P}{p_S A} P \cos\beta - \left(\frac{a_{\mu}p_S A + b_{\mu}P}{p_S A}\right)P + P \sin\beta \quad (25)$$

При трелевке по горизонтальному волоку получим:

$$Z_1 = \frac{(K^2(b_{\varphi R, mp} + c_{\varphi R, n}A) - 2Kc_{\varphi, n}A + c_{\varphi R, n}A) - K^2b_{\mu}}{p_S A} \quad (26)$$

$$Z_2 = \frac{((K(a_{\varphi R, mp} - a_{\varphi R, n}) + a_{\varphi R, n})p_S A + 2KPb_{\varphi R, mp}) - Ka_{\mu}p_S A - 2KPb_{\mu}}{p_S A} \quad (27)$$

$$Z_3 = \frac{a_{\varphi R, mp}p_S A + b_{\varphi R, mp}P}{p_S A} P - \left(\frac{a_{\mu}p_S A + b_{\mu}P}{p_S A}\right)P \quad (28)$$

При трелевке в полностью погруженном состоянии получим:

$$Z_1 = \frac{b_{\varphi R, mp} \cos\beta - b_{\mu}}{p_S A} \quad (29)$$

$$Z_2 = \frac{(a_{\varphi R, mp}p_S A + 2Pb_{\varphi R, mp})\cos\beta - a_{\mu}p_S A - 2Pb_{\mu} + p_S A\sin\beta}{p_S A} \quad (30)$$

$$Z_3 = \frac{a_{\varphi R, mp}p_S A + b_{\varphi R, mp}P}{p_S A} P \cos\beta - \left(\frac{a_{\mu}p_S A + b_{\mu}P}{p_S A}\right)P + P \sin\beta \quad (31)$$

При трелевке по волоку без наклона и в полностью погруженном состоянии получим:

$$Z_1 = \frac{b_{\varphi R, mp} - b_{\mu}}{p_S A} \quad (32)$$

$$Z_2 = \frac{a_{\varphi R, mp}p_S A - a_{\mu}p_S A + 2Pb_{\varphi R, mp} - 2Pb_{\mu}}{p_S A} \quad (33)$$

$$Z_3 = \frac{a_{\varphi R, mp} p_S A - a_{\mu} p_S A + b_{\varphi R, mp} P - b_{\mu} P}{p_S A} P \quad (34)$$

Полученные уравнения позволяют на практике рассчитать допустимый вес пачки лесоматериалов с учетом зависимостей сопротивления движению и сцепления с грунтом от удельного давления по пятну контакта движителя с опорной поверхностью.

Библиографический список

1. Шегельман, И.Р. Техническое оснащение современных лесозаготовок / И.Р. Шегельман, В.И. Скрыпник, О.Н. Галактионов. - СПб: ПРОФИ-ИНФОРМ, 2005. - 344 с.
2. Кочегаров, В.Г. Технология и машины лесосечных работ / В. Г. Кочегаров, Ю. А. Бит, В. Н. Меньшиков. – М.: Лесная пром-сть, 1990. – 390 с.
3. Хитров, Е.Г. Повышение эффективности трелевки обоснованием показателей работы лесных машин при оперативном контроле свойств почвогрунта: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Хитров Егор Германович. - СПб, 2015. - 153 с.
4. Хитров, Е.Г. Сравнение показателей взаимодействия с грунтом и проходимости колесных и колесно-гусеничных движителей / Е.Г. Хитров, Е.В. Котенев // Resources and Technology. - 2019. - Т. 16. № 4. - С. 1-24.
5. Кочнев, А.М. Теория движения колесных трелевочных систем / А.М. Кочнев. - СПб: из-во Политехнического университета, 2007. - 612 с.
6. Агейкин, Я.С. Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. - М.: Машиностроение, 1981. - 232 с.
7. Ларин, В.В. Методы прогнозирования опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Ларин Василий Васильевич. - М., 2007. - 530 с.
8. Хитров, Е.Г. Анализ составляющих глубины колеи, образующейся под воздействием движителя лесной машины на почвогрунт / Е.Г. Хитров // Resources and Technology. - 2019. - Т. 16. № 4. - С. 76-93.

Сведения об авторах

ФИО	Хитров Егор Германович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4663-5944
e-mail	yegorkhitrov@gmail.com
ФИО	Ильюшенко Дмитрий Александрович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5284-5940
e-mail	dilium@yandex.ru

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

Аннотация

Представлены уточненные зависимости для расчета допустимого веса пачки трелюемых лесоматериалов с учетом зависимостей сопротивления движению и сцепления с грунтом от удельного давления по пятну контакта движителя с опорной поверхностью. Зависимости получены на основе решения уравнения равномерного движения трелевочной системы по наклонному волоку, в котором коэффициенты сопротивления и сцепления выражены как линейные функции соотношения давления движителя и несущей способности грунта.

Ключевые слова: давление на грунт, несущая способность грунта, трелевка, тягово-сцепные свойства движителей

УДК 630

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19

Расчет касательного напряжения с учетом снижения удельного сцепления лесного грунта при буксовании движителя

Хитров Е.Г., Ильюшенко Д.А., Ермакова Е.К.

Введение

В расчетах проходимости лесных машин учитывается распределение касательного напряжения по пятну контакта движителя с опорной поверхностью и его отношение к нагрузке со стороны движителя – коэффициент сцепления. Были представлены уравнения для определения сопротивления грунта сдвигу, предполагающие снижение механических характеристик грунта, возникающее по мере увеличения сдвиговой его деформации вплоть до среза на основе [1]. Однако, уравнения, как правило, основываются на «скачкообразном» снижении удельного сцепления грунта, что не вполне согласуется с физической картиной процесса. По этой причине расчетные значения сопротивления сдвигу существенно отличаются от прочности грунта на срез, что является серьезным недостатком известных математических моделей взаимодействия движителей машин с опорными поверхностями [2].

Цель работы – представить уточненное уравнение для определения касательного напряжения, распределенного по пятну контакта, при буксовании движителя, учитывающее постепенное снижение механических характеристик грунта по мере увеличения сдвиговой деформации.

Результаты исследования

Для расчета силы сцепления движителя с опорной поверхностью следует рассмотреть распределение касательного напряжения по пятну контакта движителя с опорной поверхностью. Напряжение сдвига, распределенное по пятну контакта, определим по формуле [1]:

$$\tau_{\alpha} = \frac{1}{\frac{1}{\tau_m} + \frac{t_{gr}}{Gj}}, \quad (1)$$

где t_{gr} – шаг грунтозацепов движителя лесной машины, j – деформация сдвига опорной поверхности, τ_m – максимальное сопротивление опорной поверхности сдвигу, t_{gr} – шаг грунтозацепов, G – модуль сдвига опорной поверхности.

Сопротивление опорной поверхности сдвигу, с учетом его ослабления по причине нарушения структуры грунта при деформировании, найдем по формуле [1]:

$$\tau_m = q \operatorname{tg} \varphi + C \xi, \quad (2)$$

где q – среднее нормальное давление по пятну контакта движителя с опорной поверхностью:

$$q = \frac{G_w}{bl}, \quad (3)$$

G_w – нормальная нагрузка со стороны движителя, b – ширина пятна контакта, l – длина пятна контакта, C , φ – соответственно удельное сцепление и угол внутреннего трения частиц опорной поверхности, ξ – параметр, учитывающий снижение сопротивления сдвигу при срезе опорной поверхности:

$$\xi = 1 - \frac{j - j_0}{t_{gr}} \operatorname{Heaviside}(j - j_0), \quad (4)$$

где $\operatorname{Heaviside}(\dots)$ – единичная функция Хевисайда:

$$\begin{cases} \operatorname{Heaviside}(j - j_0) = 1, j - j_0 \geq 0 \\ \operatorname{Heaviside}(j - j_0) = 0, j - j_0 < 0 \end{cases}, \quad (5)$$

j_0 – деформация сдвига, при которой возникает срез опорной поверхности [1]:

$$j_0 = \frac{\tau_{m0} t_{gr}}{G} \left(\sqrt{\frac{G}{C}} - 1 \right), \quad (6)$$

где τ_{m0} – максимальное сопротивление сдвигу без учета возможного среза опорной поверхности, использующееся при оценке верхней границей оценки силы сцепления:

$$\tau_{m0} = q \operatorname{tg} \varphi + C \quad (7)$$

Деформацию сдвига принято определять с учетом горизонтальной координаты x , отсчитываемой от начала пятна контакта по его длине:

$$j = Sx, \quad (8)$$

где S – коэффициент буксования.

Среднее значение касательного напряжения, распределенного по длине контакта, найдем как интеграл [1,3]:

$$\tau_t = \frac{1}{l} \int_0^l \tau_{ix} dx \quad (9)$$

Сила сцепления движителя с опорной поверхностью, обусловленная горизонтальной реакцией грунта, определяется как интеграл касательных напряжений по пятну контакта движителя с опорной поверхностью [1,3]:

$$F_t = b \int_0^l \tau_{ix} dx \quad (10)$$

где τ – сдвиговое (касательное) напряжение, распределенное по длине пятна контакта, x – горизонтальная координата, отсчитываемая по длине от начала пятна контакта движителя с грунтом.

Интеграл (9) для среднего значения касательного напряжения получим в следующем виде:

$$\begin{aligned} \tau_t = \frac{1}{l} \cdot & \left\{ \frac{G^2(Cj_0 + \tau_{m0}t_{gr})^2}{St_{gr}(C-G)^3} \ln \frac{SGl + \tau_{m0}t_{gr} - (lS - j_0)C}{Gj_0 + \tau_{m0}t_{gr}} + \frac{\tau_{m0}^2 t_{gr}}{SG} \ln \frac{SGl + \tau_{m0}t_{gr}}{Gj_0 + \tau_{m0}t_{gr}} + \right. \\ & \left. + \frac{(G^2(-lS + j_0) + ((lS + j_0)C + 4\tau_{m0}t_{gr})G - 2\tau_{m0}t_{gr}C)(lS - j_0)C}{2St_{gr}(C-G)^2} \right\} \operatorname{Heaviside} \left(l - \frac{j_0}{S} \right) - \\ & - \frac{\tau_{m0}^2 t_{gr}}{GSl} \ln \frac{SGl + \tau_{m0}t_{gr}}{\tau_{m0}t_{gr}} + \tau_{m0} \end{aligned} \quad (11)$$

При этом сила сцепления по формуле (10) определится как:

$$\begin{aligned} F_t = b \cdot & \left\{ \frac{G^2(Cj_0 + \tau_{m0}t_{gr})^2}{St_{gr}(C-G)^3} \ln \frac{SGl + \tau_{m0}t_{gr} - (lS - j_0)C}{Gj_0 + \tau_{m0}t_{gr}} + \frac{\tau_{m0}^2 t_{gr}}{SG} \ln \frac{SGl + \tau_{m0}t_{gr}}{Gj_0 + \tau_{m0}t_{gr}} + \right. \\ & \left. + \frac{(G^2(-lS + j_0) + ((lS + j_0)C + 4\tau_{m0}t_{gr})G - 2\tau_{m0}t_{gr}C)(lS - j_0)C}{2St_{gr}(C-G)^2} \right\} \operatorname{Heaviside} \left(l - \frac{j_0}{S} \right) - \\ & - \frac{b\tau_{m0}^2 t_{gr}}{GS} \ln \frac{SGl + \tau_{m0}t_{gr}}{\tau_{m0}t_{gr}} + bl\tau_{m0} \end{aligned} \quad (12)$$

Коэффициент сцепления является частным силы сцепления, связанной с горизонтальной реакцией грунта, и нагрузки на движитель [1,3]:

$$\mu = \frac{\tau_t}{q} \quad (13)$$

С учетом выражений (3), (6), (7), Входными параметрами уравнений (11), (12) являются: удельное сцепление C , угол внутреннего трения φ , модуль сдвига грунта G , длина l и ширина b пятна контакта, нормальная нагрузка со стороны движителя G_w . Коэффициент буксования S является неизвестной величиной, от которой зависят F_t , τ_t , причем функции (11), (12) имеют точки максимума.

На рис. 1, 2 представлены примеры результатов расчета, выполненного при $b = 0,7$ м, $l = 0,665$ м, $t_{gr} = 0,14$ м, $q = 0,1$ МПа, $C = 0,01$ МПа, $\varphi = 14^\circ$, $G = 0,25$ МПа (колесный движитель лесной машины при работе на почвогрунте II категории прочности [3]).

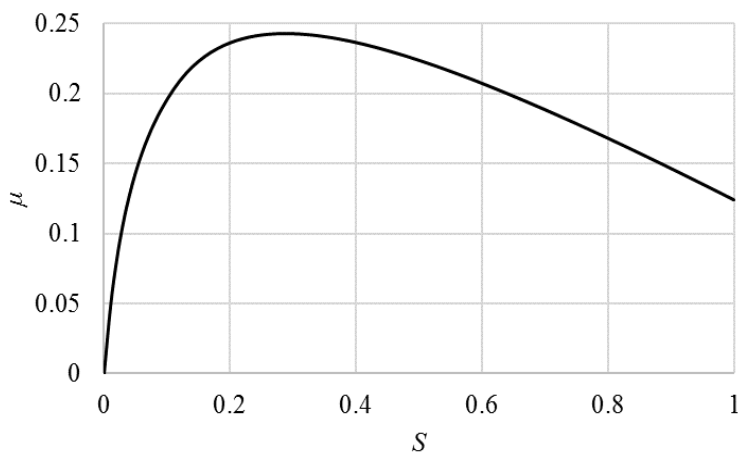


Рис. 1. Коэффициент сцепления движителя в зависимости от коэффициента буксования

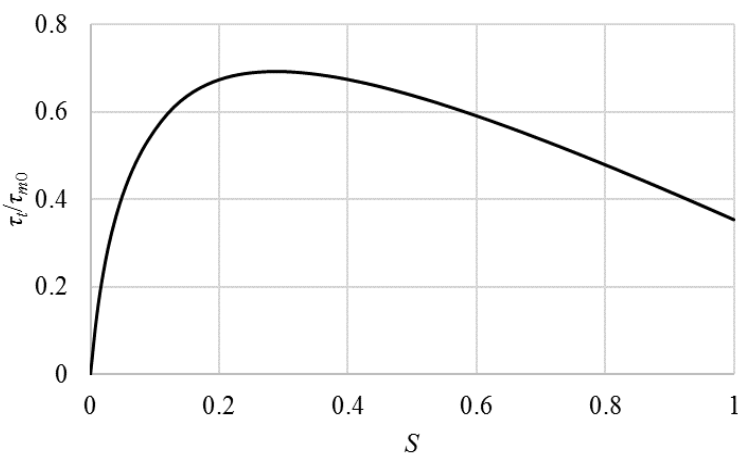


Рис. 2. Соотношение сопротивления грунта сдвигу и прочности на срез в зависимости от коэффициента буксования

Значение касательного напряжения τ_t , максимально возможного для почвогрунта по условию сохранения сцепления, приближается к сопротивлению грунта срезу τ_{m0} , что качественно отражает физическую картину взаимодействия движителя с почвогрунтом. Согласование достигнуто за счет использования коэффициента снижения удельного сцепления C по формуле (4), учитывающего постепенное снижение C в отличие от известного выражения [1], предполагающего скачкообразное изменение удельного сцепления.

Библиографический список

1. *Агейкин, Я.С.* Проходимость автомобилей / Я.С. Агейкин. - М.: Машиностроение, 1981. - 232 с.
2. *Ларин, В.В.* Методы прогнозирования опорной проходимости многоосных колесных машин на местности: дис. ... д-ра техн. наук: 05.05.03 / Ларин Василий Васильевич. - М., 2007. - 530 с.
3. *Хитров, Е.Г.* Повышение эффективности трелевки обоснованием показателей работы лесных машин при оперативном контроле свойств почвогрунта: дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01 / Хитров Егор Германович. - СПб, 2015. - 153 с.

Сведения об авторах

ФИО	Хитров Е.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4663-5944
e-mail	yegorkhitrov@gmail.com
ФИО	Ильюшенко Д.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5284-5940
e-mail	dilium@yandex.ru
ФИО	Ермакова Е.К.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	ermakovaalya@gmail.com

Аннотация

Представлено уточненное уравнение для определения сопротивления опорной поверхности сдвигу при буксовании движителя лесной машины, учитывающее постепенное снижение механических характеристик грунта по мере увеличения сдвиговой деформации. Установлено, что расчетное значение касательного напряжения, максимально возможного для почвогрунта по условию сохранения сцепления, приближается к сопротивлению почвогрунта срезу, что качественно отражает физическую картину взаимодействия движителя с почвогрунтом. Согласование достигнуто за счет использования выражения коэффициента снижения удельного сцепления, учитывающего постепенное снижение удельного сцепления.

Ключевые слова: удельное сцепление, срез, коэффициент буксования, коэффициент сцепления

УДК 630

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.19

Сырье для производства топливной щепы

Ильюшенко Д.А., Орлов В.В., Локштанов Б.М.

Введение

Производство топлива вместо нефти, угля для выработки тепловой энергии занимает умы ученых, инженеров, экономистов, экологов. Одним из таких видов топлива является древесина – издревле используемая человеком. Этот вид топлива относится к возобновляемым ресурсам, так как лес растет, можно сказать «сам по себе». Следует обратить внимание на то, что на древесину имеется большой спрос как удобный строительный материал, сырье для производства целлюлозы и других востребованных материалов, поэтому можно говорить об отходах древесины как о сырье для производства тепловой энергии.

Отходы древесины образуются сразу как только человек или машина подошли к растущему дереву, чтобы его использовать. Это так называемые лесосечные отходы [1].

Кроме лесосечных отходов сырьем для производства топливной щепы может служить низкокачественная древесина, спрос на которую низкий в связи со сложностью ее использования.

Цели и задачи

Количество лесосечных отходов оценивают величиной 20-25%, причем большие значения соответствуют заготовке лиственных пород древесины –

береза, осина, тополь, а наименьшие значения – для сосны. Очень важным обстоятельством является то, что лесосечные отходы не включают в объем лесозаготовок, а учет заготовленной древесины ведут по стволу части дерева от пня (высота от земли 10-20 см) и до вершины (диаметр не менее 6 см). Таким образом, лесосечные отходы не учитывают, а они есть, и в очень большом количестве. Часть лесосечных отходов лесозаготовители вынуждены использовать для укрепления волоков для прохождения по ним лесозаготовительной техники. На это уходит почти половина лесосечных отходов. Оставшаяся часть лесосечных отходов ~ 10-15% (от объема лесозаготовок) является «головной болью» лесозаготовителей, так как от них надо очистить лесосеку и в очень короткие сроки – по Лесному кодексу РФ [2]. Лесозаготовители в основном сжигают лесосечные отходы, для этого им приходится отходы собирать в кучи и сжигать с учетом пожарной опасности отходов.

Пример расчета лесосечных отходов

По Росстату объем заготовки древесины в 2018-2019 гг. в среднем составляет 200 млн.пл.м³ в год. Лесосечные отходы составляют ~ 22% или 44 млн.пл.м³. Часть уходит на укрепление волоков 24 млн.пл.м³, а оставшуюся часть ~ 10% или 20 млн.пл.м³ можно использовать, например, произвести щепу (топливную щепу) и направить ее к котельным. Много это или мало? – это очень много. Например, калорийность угля (расчетная для РФ) $Q_1 = 7000$ ккал/кг, а калорийность древесины (щепы) 2500 – 4000 ккал/кг (в зависимости от породы и влажности), примем $Q_3 = 3000$ ккал/кг. Переведем плотные куб.м щепы (древесины) в кг с учетом плотности щепы (древесины) – 800 кг/пл.м³. Таким образом, калорийность расчетных лесосечных отходов составляет:

$$Q = S_1 \cdot Q_2 \cdot \rho = 20\,000\,000 \cdot 3\,000 \cdot 800 = 48\,000\,000\,000\,000 \text{ ккал} \quad (1)$$

Если принять, что 1 тонна угля обладает калорийностью $Q_3 = 1\,000 \cdot Q_1 = 1\,000 \times 7\,000 = 7\,000\,000$ ккал/т, то можно рассчитать, сколько щепы, полученной из лесосечных отходов, может заменить угля в РФ

$$S_2 = \frac{Q}{Q_3} = \frac{48\,000\,000\,000\,000}{7\,000\,000} = 8\,000\,000 \text{ т} \quad (2)$$

Таким образом, если лесосечные отходы, возможные к использованию, превратить в щепу, то мы можем заменить около 8 млн.т. угля в год. По такому же расчету можно получить замену: мазута около 4 млн.т., газа 2,5 млн.т.

В настоящее время в РФ используется топливная щепка из лесосечных отходов в очень малом количестве – всего около 2 млн.м³. Это очень мало для такой лесной страны как РФ. Что сдерживает лесозаготовителей при организации производства топливной щепы из лесосечных отходов:

1. Отсутствие интереса государства в системе производства топливной щепы, как альтернативного топлива. Для потребителей газа, мазута, угля в РФ государства держит низкие цены. Если взять страны ЕС, то производителям топливной щепы, пеллет, брикетов (из отходов древесины) дают большие субсидии, поощряя их к увеличению объемов использования. В настоящее время в некоторых странах ЕС (Швеция, Дания и др.) древесное топливо обеспечивает 20% получения тепловой энергии.
2. Велика стоимость машин и оборудования для сбора лесосечных отходов, производства из них щепы, перевозки щепы потребителям.
3. В РФ велико количество мелких лесозаготовительных предприятий, которым экономически не выгодно заниматься этим вопросом – легче сжечь отходы лесосеки.
4. Для РФ характерны большие расстояния для организации перевозки такой щепы за рубеж, где имеются ее большие потребители. Это как по пословице: «за морем телушка - полушка, да рубль перевоз».
5. Топливная щепка имеет низкий коэффициент полндревесности и для ее перевозки требуется большеобъемные кузова автомобилей, вагонов, судов. Требуется создать узлы для перегрузки щепы.

Кроме лесосечных отходов, сырьем для производства топливной щепы может служить и низкокачественная древесина (НКД). К НКД относятся древесина с повышенным содержанием гнили, большой кривизной, сучковатостью, с пасынками, дуплами и другими пороками.

Количество этой древесины велико и в среднем составляет 20-25% (или 40-50 млн.пл.м³ настоящее время в год), но уже от объема заготавливаемой древесины. Еще в СССР утилизации НКД уделяли большое внимание и на крупных леспромхозах создавали специальные цеха для производства технологической щепы для ЦБП, плитных заводов и т.д. Сейчас таких цехов нет, а их создание очень дорого, так как приходится окоривать НКД, раскряжевывать, колоть, удалять гниль, рубить на щепу, хранить щепу, отгружать щепу на ЦБК. Объем производства технологической щепы составлял 10-15 млн.пл.м³ (при выходе щепы 50-60% от объема НКД).

Сегодня вопрос утилизации НКД стоит в отрасли очень остро. Из-за отсутствия потребителей НКД многие лесозаготовители вынуждены оставлять ее на лесосеке или продавать в качестве дров по низким ценам. Но всю НКД не продать даже на дрова.

Одним из решений использования НКД является производство из нее топливной щепы (не подвергая окорке, выколки гнили) совместно с

лесосечными отходами. Это уже большие объемы, представляющие большой интерес для лесозаготовителей. Кроме того, в 2019 году цены на топливную щепу достигли величины 2 000руб. за 1 м³, вместо 400-600 рублей в 2018г.

Пример для подтверждения. Объем заготовки составляет 150 т.м.³ в год. Объем НКД (20%) составляет 30тыс.м³. Объем лесосечных отходов (+10%) 15 тыс.м.³. Общий объем получаемой топливной щепы (30+15) достигает 45 тыс.м³. Если продавать такую щепу потребителям в РФ выручка от продажи составит 95 млн. руб. Затраты на производство топливной щепы за 1 пл.м.³ непосредственно на лесосеке составит 200 руб. или на весь объем около 9млн.руб. Перевозка щепы на расстояние 50-100 км составит 180 руб./м³ и обойдется в 8,1 млн.руб.

Зарплата, накладные расходы и другие затраты составят 120 руб./м³ или 5,4 млн. руб. Общие расходы составят 22,5 млн. руб., а прибыль 72,5 млн. руб., что вполне реально может обеспечить покупку систем машин для сбора лесосечных отходов и НКД, мобильной рубительной машины, щеповоза и другой техники. С учетом кредита, цен на топливо, роста зарплат и другие расходы на обустройство площадок, укрепление дорог и т.д., срок окупаемости не превысит 3 года, что вполне эффективно.

Возможно рассмотреть и другие виды сырья для производства топливной щепы (или драбленки). Это могут быть древесные отходы в виде строительных материалов: старая фанера, двери, рамы, доски, которые выбрасывают на свалки в большом количестве, принося вред экологии, захламляя территории, особенно возле крупных городов, они пожароопасны и самовозгораются, нанося вред воздушной среде. Производству топливной щепы (дробленки) из таких отходов мы уделим внимание в последующих публикациях.

Заключение и выводы

Из приведенных данных по количеству лесосечных отходов и низкокачественной древесины возможно производить миллионы кубометров топливной щепы и производить из нее тепловую энергию, которая может заменить дорогостоящие и неэкологические виды топлива нефть, уголь.

Библиографический список

1. Проектирование лесозаготовительных производств: учебное пособие для бакалавров направления подготовки 35.03.02 «Технология лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств» / Б.М. Локштанов [и др.] – СПб: СПбГЛТУ, 2015 – 80 с.
2. Лесной Кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 г. № 200-ФЗ (с изменениями от 13 мая, 22, 23 июля, 25 декабря 2008 г, 14 марта, 17, 24 июля, 27 декабря 2009 г, 22 июля 2010 г.): принят Государственной Думой 8 ноября 2006 г: одобрен Советом Федерации 24 ноября 2006 г.

Сведения об авторах

ФИО	Локштанов Борис Моисеевич
Организация	Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства обороны Российской Федерации
Адрес организации	194064, Тихорецкий пр., д. 3, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4014-2820
e-mail	blokshtanov@mail.ru
ФИО	Ильюшенко Д.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5284-5940
e-mail	dilium@yandex.ru
ФИО	Орлов В.В.
Организация	Федеральное государственное казенное военное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Военная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного» Министерства обороны Российской Федерации
Адрес организации	194064, Тихорецкий пр., д. 3, Санкт-Петербург, Россия
e-mail	artictvetal1987@gmail.com

Аннотация

Рассмотрены виды древесного сырья для производства топливной щепы: лесосечные отходы и низкокачественная древесина. Приведены примеры расчетов объемов такого вида сырья и его замена других видов топлива.

Ключевые слова: древесина, щепы, лесосечные отходы, топливо, НКД
УДК 630.848

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 68.47.01

Способы переработки древесных отходов при лесозаготовке и первичной обработке лесоматериалов

Белова Ж.О., Угрюмов С.А.

Введение

Современный уровень развития лесопромышленного комплекса сопровождается образованием большого количества древесных отходов, как на стадии заготовки древесины, так и на стадиях ее переработки. В лесах накапливается большое количество низкокачественной древесины, что ведет к деградации лесных насаждений, ухудшению экологической обстановки и повышению пожароопасности [1].

В России проблема утилизации древесных отходов относится к числу наиболее актуальных, так как в настоящее время в существующих процессах заготовки и переработки древесины теряется почти половина биомассы дерева [2], что негативно отражается на технико-экономических показателях работы лесозаготовительных предприятий.

Совершенствование технологических процессов заготовки и переработки древесины необходимо производить на качественно новом уровне, с учетом ресурсосбережения и комплексной переработки древесного сырья, создавать высокоэффективные комплексы для глубокой переработки сырья на всех технологических стадиях, а также с использованием образующихся отходов в производстве побочных видов продукции.

В России находится около половины мировых запасов древесины. Анализ потребления древесины показывает, что ее заготовка и переработка сопровождается огромными потерями. Значительная часть всей перерабатываемой древесины составляют побочные продукты в виде отходов, большая часть которых сжигается или вывозится в отвалы [3]. Между тем они являются ценным сырьем для производства разнообразных строительных материалов, а также сырьем для пиролизной, гидролизной, целлюлозной и других отраслей промышленности.

Способы использования отходов лесозаготовительного производства

Использование отходов лесозаготовок включает следующие операции [4]:

- валку и первичную обработку деревьев Харвестером, который в процессе обработки дерева складывает лесосечные отходы;
- транспортировку лесосечных отходов по лесной дороге на модернизированном Форвардере к месту складирования у лесной дороги;
- переработку лесосечных отходов в щепу с использованием рубительной машины.

– транспортировку технологической щепы на автопоезде.

Предприятия лесопромышленного комплекса при лесозаготовке регулярно сталкиваются с проблемой утилизации большого количества порубочных остатков на деланке. Однако вывозить кусковые отходы (особенно крупные) за пределы предприятия даже на небольшие расстояния не выгодно в связи с большой трудоемкостью складских и погрузочно-разгрузочных работ, сложностью их механизации, малой степенью использования грузоподъемности подвижного состава. Поэтому наиболее целесообразно перерабатывать кусковые отходы в щепу на месте и отправлять ее на соответствующие специализированные предприятия для использования в качестве вторичного сырья. Кусковые отходы выгодно перерабатывать на щепу при дальнейшем ее использовании не только в качестве технологического сырья, но и в качестве заводского топлива.

Для решения указанной проблемы эффективно использование щепорубочные машины в качестве измельчителя древесины, предназначенные для расчистки лесных территорий от древесно-кустарниковой растительности и порубочных остатков, а также для переработки продуктов лесозаготовки и лесопиления в топливную и технологическую щепу и сырье, используемое для производства биотоплива. Применение этой техники, которую можно круглогодично эксплуатировать в суровых климатических условиях, позволяет избежать привлечения большого количества машин и рабочей силы для расчистки территорий и захоронения древесных отходов.

Также существуют многофункциональные машины, хорошо подходящие для очистки местности от деревьев, пней и кустарников, перерабатывающих их в мульчу [5]. Мульчеры используются на работах по вырубке неликвидной древесины, очистке территории под строительные площадки, при проведении инженерно-геологических изысканий, прокладке нефте- и газопроводов, устройстве противопожарных и разделительных полос. Применение этих машин позволит избежать привлечения большого количества специализированного оборудования для измельчения неликвидной древесины и отходов.

Себестоимость производства древесного топлива из отходов лесозаготовок может колебаться в широких пределах. Основными факторами себестоимости являются – вид рубки, технология заготовки и расстояние до потребителя. Поэтому использование отходов лесозаготовок с выработкой топлива является целесообразным и перспективным направлением при условии наличия потребителя топлива на относительно близком расстоянии [6].

Современные технологии позволяют привлекать к производству биотоплива любые отходы деревообработки: опилки, стружку, древесную

пыль, щепу, горбыль, срезки, тонкомерную древесину. Что касается породного состава древесины, то здесь тоже возможно разнообразие – из ели, сосны, пихты, кедра, лиственницы производят пеллеты, брикеты, евродрова, из крупнокусковых отходов березы и дуба получают качественный уголь.

Вывод

Древесные отходы могут быть прибыльным вторичным сырьем в зависимости от условий местного рынка и доступных технологий. Относительно легко перерабатываемые отходы древесины имеют множество направлений переработки, что делает их ценным сырьем. Кроме того, технология извлечения и вторичного использования древесных отходов в настоящее время коммерчески доступна.

Осилить переработку отходов сможет не только крупное производственное предприятие, это под силу и мелкому бизнесу. Доступность отходов как сырья, широкий выбор направлений переработки, простота сбыта готовой продукции – все то делает переработку древесины и древесных отходов привлекательным и выгодным делом.

Библиографический список

1. Поконов А.А. Оценка уровня технологического развития предприятий регионального лесопромышленного комплекса в процессе формирования стратегии их технологического развития / А.А. Поконов // Проблемы экономики, организации и управления в России и мире: материалы XIII международной научно-практической конференции. – Красноярск: СибГАУ, 2017. –С. 155-157.
2. Заикин А.Н. Теоретические основы технологии лесозаготовительных производств / А.Н. Заикин, Е.Г. Изюмова. – Брянск: БГТУ, 2010. – 170 с.
3. Никифоров А.Ю. Вопросы утилизации отходов лесозаготовок / А.Ю. Никифоров // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2008. –№ 3. –С. 12.
4. Тюрин Н.А. Проектирование лесозаготовительных и деревоперерабатывающих производств / Н. А. Тюрин [и др.] – СПб.: СПбГЛТУ, 2012. – 96 с.
5. Локштанов Б.М. Устройство для производства топливной щепы из лесосечных отходов и ее очистка от минеральных включений / Б.М. Локштанов, В.В. Орлов, И.В. Бачериков // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы научно-технической конференции. – Вологда: ВоГУ, 2014. – С. 47–51.
6. Саханов В.В. Эффективность использования различных видов древесного топлива / В.В. Саханов, В.В. Кашуба, А.Е. Мачина // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2011. –№ 6. – С. 165-168.

Сведения об авторах

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

организации

SPIN-код отсутствует
e-mail belova.zhanna96@mail.ru

ФИО

Угрюмов С.А.

Организация

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

Адрес

194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

организации

SPIN-код 6246-6269
e-mail ugr-s@yandex.ru

Аннотация

Приведен обзор способов переработки древесных отходов, образующихся в процессе лесозаготовки. Установлено, что древесные отходы могут быть ценным и прибыльным вторичным сырьем. Вторичное использование древесных отходов позволяет повысить технико-экономические показатели работы лесозаготовительных и деревоперерабатывающих предприятий.

Ключевые слова: лесозаготовительное производство, древесные отходы, ресурсосбережение, комплексная переработка, вторичное сырье.

УДК 674.8

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.15.01, 66.29.99

3. ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА

Рациональное ресурсо- и теплоиспользование в лесной промышленности

Иванова И.В., Дейс А.Д.

Введение

Повышение уровня рационального использования энергетических ресурсов является важнейшей проблемой современности. Это определяется не только ростом потребности, удорожанием их добычи и производства, но и тем, что по объему использования энергетических ресурсов и связанному с этим воздействием на природу человечество приближается к предельно допустимому порогу.

До настоящего времени человечество шло в основном по пути экстенсивного использования энергетических ресурсов. Сейчас задача состоит в нахождении путей интенсивного их использования, т.е. в нахождении путей удовлетворения нужд человечества при экономически обоснованном минимуме затрат энергетических ресурсов.

Важнейшей проблемой на сегодня является совокупность мероприятий по экономии топлива: сокращение энергетических затрат в быту; повышения коэффициента полезного использования энергии у конечных потребителей; повышение коэффициента полезного действия (КПД) производства; трансформации и передачи энергии. Анализ показывает, что затраты необходимые для обеспечения экономии 1 тонны топлива в несколько раз ниже затрат на добычу того же количества топлива.

Лесная промышленность Российской Федерации включает в себя несколько технологически связанных между собой отраслей. К отраслям лесной промышленности относятся лесозаготовка, целлюлозно-бумажная промышленность, производство пиломатериалов, древесных плит, фанеры, мебели, биотоплива, деревянное домостроение и лесная химия. Лесная промышленность производит такие виды продукции, как мебель, бумага, картон и строительные материалы. По обеспеченности лесами страна занимает первое место в мире, занимая более 20% площади мирового лесного покрова. Вместе с тем из-за недостаточного развития мощностей по глубокой переработке древесины структура лесопромышленного производства несовершенна, значительная часть древесины не находит применения. Заготовленная древесина преимущественно используется в круглом виде и для лесопиления. Из 1 м³ заготовленной древесины в России производится в 3...4 раза меньше продукции глубокой переработки, чем в развитых странах [1]. При

этом вопрос об эффективном использовании отходов лесной промышленности является актуальным.

Цели и задачи

Целью работы является исследование методов снижения топливно-энергетических затрат на производство промышленной продукции лесной промышленности по энергии и по топливу, поиск новых направлений по энергосбережению.

Методика исследования

Учет производства и потребления тепловой энергии – это необходимое условие ее экономического и эффективного ее использования. Экономия топлива и тепловой энергии в котельных за счет повышения уровня эксплуатации и обслуживания котлоагрегатов складывается из следующих составляющих:

- экономии топлива при изменении нагрузок котельных агрегатов;
- уменьшения потерь тепла за счет поддержания оптимального значения коэффициента избытка воздуха;
- снижение потерь тепла за счет поддержания необходимой чистоты поверхностей нагрева котла;
- экономии теплоты за счет рациональной эксплуатации хвостовых поверхностей нагрева котлоагрегата;
- оптимизации водного режима котельных установок;
- снижения потерь тепла в окружающую среду, которые зависят от состояния теплоизоляции котлоагрегата;
- строгое соблюдение режимных рекомендаций и ведение теплового контроля котлоагрегатов.

Одним из мероприятий является повышение эффективности использования топлива и снижение потерь тепла в теплогенерирующем оборудовании, т.е. за счет повышения уровня эксплуатации и обслуживания котлоагрегатов. В ряде работ показано, что наибольший эффект обеспечивают дополнительный подогрев питательной воды котла, перевод котла с твердого и жидкого топлива на газообразное, уменьшение накипеобразования паровых котлов [2, 3].

Всякое возрастание нагрузки котлоагрегата вызывает увеличение тепловыделения в топке и снижает долю тепла, передаваемого экранам в топке, увеличивая долю тепла, воспринимаемого конвективными поверхностями, водяным экономайзером и воздухоподогревателем. Это объясняется повышением температуры на выходе из топки и увеличением скорости газов в конвективных поверхностях, в результате чего повышаются температуры перегрева пара, подогрева воды и воздуха. При этом удельная тепловая

нагрузка экранов увеличивается незначительно, а температура уходящих газов резко возрастает и, следовательно, увеличиваются потери тепла с уходящими газами. Кроме того, пропорционально квадрату увеличения нагрузки увеличиваются сопротивления парового, газового и воздушного трактов. Уменьшение нагрузки снижает температуру на выходе из топки, что вызывает изменение вышеуказанных параметров в обратном порядке.

Весьма важным резервом экономии топлива в промышленных котельных являются правильное распределение общей нагрузки между котлами и правильный выбор числа работающих котлов.

Производительность агрегата следует регулировать таким образом, чтобы обеспечивался нормальный режим работы топки, исключаящий ее интенсивное шлакование при работе на твердом топливе. Изменение форсировки топки достигается регулированием подаваемого топлива и воздуха при поддержании постоянного разрежения в верхней части топочной камеры. Форсировку топки следует изменять постепенно. Однако окончательно воздушный режим топки должен быть установлен по содержанию трехатомных газов RO_2 и кислорода O_2 в продуктах сгорания.

Для снижения потерь с уходящими газами необходимо устанавливать оптимальный коэффициент избытка воздуха, а также снижать количество холодного воздуха, подаваемого в топку котла. Следует регулярно очищать поверхность нагрева котла загрязнений золой и сажой, а также от накипи и шлака.

При сгорании топлива в топке котла существенны потери неполного его сгорания. Они возникают из-за неравномерного поступления воздуха в топку котла, неудовлетворительного смешения частиц топлива с воздухом, низкой температуры в топке, малого ее объема и неустойчивости процесса горения. При этом в топке ухудшается температурный режим, скорость газов возрастает, время пребывания частиц топлива в топке уменьшается. Избыточное поступление воздуха в топку может происходить при недостаточно точной наладке системы его подачи, через неплотности в обмуровке и непредусмотренные подсосы холодного воздуха. Увеличение коэффициента избытка воздуха α в топке на 0,1 приводит к перерасходу топлива на 0,7%, снижение подсоса воздуха по газовому тракту на 0,1 уменьшает расход топлива на 0,5% [2].

Технические меры по экономии топлива, применяемые потребителями тепловой энергии, так же весьма разнообразны и их целесообразно решать применительно к конкретному предприятию. К ним можно отнести: более качественное утепление производственных и жилых помещений; снижение или полное отключение выдачи теплоты нагревателям в период длительного

отсутствия людей в помещении, а в остальное время поддержание температуры не более рекомендуемой санитарными нормами; более полную утилизацию теплоты отработанного пара; снижение потерь в тепловых сетях и теплоиспользующем оборудовании; применение в отопительно-вентиляционных системах в качестве теплоносителя горячей воды вместо пара, возврат конденсата с производства.

К основным путям совершенствования теплоиспользования можно отнести повышение эффективности эксплуатации водяных отопительных сетей.

Эффективность эксплуатации водяных отопительных сетей можно повысить, выполняя мероприятия, которые можно разделить на две группы: мероприятия режимного порядка в объеме существующих отопительно-вентиляционных систем, работающих на горячей воде, и перевод их на нагретую воду с начальной температурой 150 °С, а также перевод систем водяного отопления на автоматический режим работы.

Большим резервом экономии тепла, а соответственно топлива является правильный выбор тепловой изоляции для покрытия различных цилиндрических аппаратов и трубопроводов. Данный выбор основан на понятии критического диаметра [4]

$$d_{кр} = \frac{2\lambda}{\alpha_2}, \text{ м}, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности изоляции, Вт/(м · К); α_2 – коэффициент теплоотдачи во внешнюю среду, Вт/(м² · К).

Проанализируем критическую толщину изоляции, наложенную на трубу. Термическое сопротивление для трубы запишется

$$R_i = \frac{1}{\alpha_1 d_1} + \frac{1}{2\lambda_{сн}} \ln \frac{d_2}{d_1} + \frac{1}{2\lambda_{из}} \ln \frac{d_3}{d_2} + \frac{1}{\alpha_2 d_2}, \text{ (м}^2 \cdot \text{К)/Вт}. \quad (2)$$

Из уравнения $q_i = \frac{\pi \Delta t}{R_i}$ следует, что при увеличении внешнего диаметра изоляции d_3 сначала будет возрастать и при $d_3 = d_{кр\text{ из}}$ будет иметь максимум. При дальнейшем увеличении внешнего диаметра изоляции q_i будет падать.

Выбрав какой-либо теплоизоляционный материал для покрытия цилиндрической поверхности, прежде всего, нужно рассчитать критический диаметр по известным λ и α_2 .

Если окажется, что величина $d_{кр}$ больше наружного диаметра трубы d_2 , то применение выбранного материала в качестве тепловой изоляции нецелесообразно. В области $d_2 < d_3 < d_{кр}$ при увеличении толщины изоляции будет наблюдаться увеличение теплотерь. Только при $d_3 = d_{3эф}$ тепловые потери вновь станут такими же, как для первоначального, неизолированного

трубопровода. Следовательно, некоторый слой тепловой изоляции не будет оправдывать своего назначения. Значит для эффективной работы тепловой изоляции необходимо, чтобы $d_{кр\text{ из}} \leq d_2$.

Известно, что наличие неизолированного паропровода диаметром 1 м² с давлением пара 0,5 МПа приводит к перерасходу условного топлива на 0,4 кг/ч, а при 0,7 МПа – на 3,6 кг/ч [2].

К основным мероприятиям водно-химического режима, обеспечивающего экономию тепловой энергии, относятся [3]:

- поддержание в чистоте внутренних поверхностей нагрева отопительных приборов и системы промывки их перед отопительным сезоном, установкой механических или Na-катионовых фильтров для умягчения подпиточной воды, дегазацией подпиточной воды в деаэраторах подпитки теплосети;
- оптимальное распределение тепловой нагрузки между отдельными абонентами и гидравлического сопротивления участков посредством шайбирования отдельных узлов отопительно-вентиляционных систем.

Выполнение этих мероприятий способствует обеспечению расчетного перепада температур сетевой воды в подающем и обратном трубопроводах. Снижение расчетного перепада температур приводит к значительным потерям энергоресурсов. По данным [2], изменение перепада температуры горячей воды в подающем и обратном трубопроводах с $\Delta t = 90 - 70 = 20$ °С до $\Delta t = 90 - 75 = 15$ °С за счет повышения температуры обратной воды всего на 5 °С приводит к увеличению расхода теплоносителя в 1,3 раза и к перерасходу электроэнергии на привод сетевых насосов в 2,2 раза.

Существенным резервом экономии энергоресурсов является ликвидация «перетопа» помещений поддержанием температуры подогрева сетевой воды в соответствии с отопительным графиком, в котором предусматривается пропорциональное снижение температуры подогрева сетевой воды в подающем трубопроводе при повышении температуры наружного воздуха.

Перевод отопительно-вентиляционных систем на повышенные параметры теплоносителя обеспечивает значительную экономию расхода теплоносителя и сокращение расхода электрической энергии на его транспортировку. В то же время это приводит к необходимости создания тепловых пунктов на абонентских вводах со специальным теплотехническим оборудованием, что усложняет условия эксплуатации тепловой сети и приводит к росту капитальных затрат и эксплуатационных расходов. Целесообразность перевода отопительно-вентиляционных систем на перегретую воду должна быть подтверждена технико-экономическими обоснованиями.

Перевод данных систем на автоматический режим работы повышает качество теплоснабжения абонентов при одновременном сокращении удельного потребления энергоресурсов и эксплуатационных затрат.

К основным факторам, влияющим на величину потерь тепла конденсатом, являются пролетный пар, величина которого достигает величины 15...20% общего его расхода и вторичный пар за счет вскипания части конденсата при снижении его давления [2].

Удельные потери тепловой энергии с конденсатом зависят от ряда факторов, обусловленных режимом эксплуатации теплоиспользующих установок и степенью совершенства конденсатного хозяйства. Наиболее характерные факторы: возрастание тепловых потерь с конденсатом по мере роста давления, греющего пара в теплоиспользующем аппарате; влияние качества теплоносителя, поступающего в теплоиспользующую установку. Снижение расчетного давления и повышение влажности насыщенного пара уменьшают величину располагаемого тепла, внесенного теплоносителем в установку, и увеличивает удельные потери тепловой энергии с конденсатом. При увеличении давления греющего пара в теплотребляющей установке наблюдается рост потерь тепловой энергии и прямых потерь конденсата с паром вторичного вскипания конденсата.

На передовых предприятиях потери конденсата и тепловой энергии сводят до минимальных величин посредством:

- использования тепла перегретого конденсата для нужд отопления, вентиляции, горячего водоснабжения;
- перевода работы теплоиспользующих установок на режим, обеспечивающий переохладение конденсата, т.е. когда температура конденсата на выходе из аппарата на 2...3 °С ниже температуры насыщения пара при том же давлении;
- организации наиболее полного возврата конденсата с производства в котельную и разработки схем использования тепла конденсата.

При решении вопросов, направленных на сокращение тепловых потерь с конденсатом, необходимо учитывать, что он является более ценной составляющей питательной воды для паровых котлов, так как в нем содержится весьма мало растворенных веществ, питание котлов конденсатом уменьшает отложение накипи на внутренних поверхностях нагрева, повышает паропроизводительность и надежность работы котлоагрегата. Поэтому, обеспечение максимального возврата конденсата с производства не менее важно, чем сокращение потерь тепла с конденсатом. Следует учесть, что полученная за счет возврата конденсата экономия топлива значительно превышает величину экономии от использования тепла самого конденсата.

Результаты и обсуждение исследований.

На современном этапе необходимо выработать новые принципы соответствия между ростом материального производства, а также необходимым уровнем энергообеспечения жизни и поддержания достаточного экологического ресурса. Это направление становится главной задачей обеспечения устойчивого развития общества в соответствии с Концепцией перехода Российской Федерации к устойчивому развитию. Энерго- и ресурсосбережение открывает перед человечеством новые возможности комплексного решения экономических, экологических, научно-технических и других проблем, позволяя при этом активно формировать благоприятную среду обитания. Комплексный подход к решению экономических, технологических, экологических и энергетических задач в одном технологическом агрегате или одной технологической схеме открывает новые пути повышения эффективности многих технологических процессов в лесной промышленности и других отраслях.

Заключение и выводы.

Экономия топливно-энергетических ресурсов на теплогенерирующих в установках систем теплоснабжения может быть достигнута в результате разработки осуществления следующих мероприятий:

- улучшение структуры и организации учета расхода топлива, выработки и потребления тепловой энергии;
- совершенствование системы нормирования расхода тепловой энергии и топлива;
- максимальное вовлечение в топливный баланс вторичных топливных энергетических ресурсов;
- повышение эффективности использования топлива и снижение потерь тепла в теплогенерирующем оборудовании;
- повышение эффективности тепловой энергии в теплоиспользующем оборудовании и тепловых сетях;
- снижение потерь различных видов топлива при его хранении, разгрузке (сливе), внутрипроизводственном транспортировании;
- использование мероприятий по энергосбережению;
- расширение обмена опытом работы по экономии топлива и тепловой энергии, организация наглядного показа имеющихся достижений;
- разработку и усовершенствование системы премирования работников за экономию топлива и тепловой энергии;
- повышение квалификации обслуживающего персонала.

Библиографический список

1. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года. Распоряжение правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 г. №1989-р. – 102 с.
2. Михайлов, В.В. Рациональное использование топлива и энергии в промышленности. / В.В. Михайлов, Л.В. Гудков, А.В. Терещенко. – М.: Энергия, 1978. – 223 с.
3. Соколов, Б.А. Котельные установки и их эксплуатация: учебник для начального профессионального образования. / Б.А. Соколов. – 2-е изд., испр. – М.: Академия, 2007 г. – 432 с.
4. Исаченко, В.П. Теплопередача: учебник для вузов / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Энергоиздат, 1981. – 416 с.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Дейс А.Д.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2723-8008
e-mail	sashalepeskin@rambler.ru

Аннотация

Учет производства и потребления тепловой энергии на предприятиях лесной промышленности – это необходимое условие ее экономического и эффективного использования. Рассмотрены основные направления, позволяющие добиваться экономии топлива и тепловой энергии в котельных за счет повышения уровня эксплуатации и обслуживания теплогенерирующих установок.

Ключевые слова: экономия топлива; тепловая энергия, энергосбережение; теплогенерирующие установки; fuel economy; thermal energy, energy saving; heat generating plants.

УДК 658.26

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 66.01.84

Разработка водо-водяного пластинчатого теплообменника

Прохоров В.А., Куликов А.А., Иванова И.В.

Введение

При реконструкции теплоиспользующих установок с водяным теплоносителем широкое применение нашли разборные пластинчатые теплообменники зарубежного производства. Данные изделия, как правило, отличались современным дизайном, высокой эффективностью в состоянии поставки и сопровождалась минимумом технической документации. Условия эксплуатации отечественных теплоиспользующих установок требовали в период освоения нового оборудования постоянного или после приобретения соответствующего опыта периодического технического сопровождения изделий со стороны зарубежных поставщиков с довольно высокими финансовыми затратами. В сложившейся ситуации в качестве компромиссного решения были предприняты разработки теплообменников на базе теплообменных поверхностей (пластин) зарубежного производства. Данный подход также оказался не в полной мере состоятельным, однако дал массу полезной разнообразной технической информации от высококвалифицированных поставщиков.

Сложность конструкций пластин импортных теплообменников на этапе освоения изделий не позволяли без рабочей документации выполнить достоверные оценки теплотехнических характеристик на основе имеющихся рекомендаций по теплообмену. Трудно также было обосновать в этой ситуации сами конструкции пластин без выполнения соответствующих работ и финансовых издержек.

Цели и задачи

Проблемы эксплуатации импортных теплообменников и неопределенность результата при выполнении оперативных корректирующих действий определили цель – создание конкурентоспособного разборного водо-водяного пластинчатого теплообменника. Достижение данного результата предполагает решение целого ряда задач:

1. разработка конструкции, включая теплообменные пластины и уплотнительные элементы, и обоснование её теплотехнических, прочностных характеристик (задача № 1);
2. разработка технологии штамповки теплообменных пластин (задача № 2);
3. изготовление опытного образца изделия (задача № 3) и проведение испытаний (задача № 4).

В данной статье при сохранении общей целевой установки представлена информация о выполнении отдельных этапов задачи № 1 в части:

- выбора конструкции изделия;
- разработки методики теплового расчета выбранной конструкции.

Методика исследования

Выполнение обозначенных выше этапов потребовало проведения целого ряда изысканий. При этом поиск технического решения был осуществлен таким образом, чтобы:

- конструкция изделия имела простое исполнение;
- оценка теплотехнических характеристик изделия не выходила бы за рамки существующих научно-технических рекомендаций.

Результаты и обсуждение исследований

Анализ существующих технических решений по конструкциям пластинчатых теплообменников и теплообменных пластин [1 – 6] привел к инициативной разработке технического решения [7]. Результат разработки в схематичном виде представлен на рис. 1 и 2. При работе теплообменника охлаждающая и греющая среды поступают через подводящие патрубки 3 и 4 соответственно и патрубки 12 плоских пластин 7 в коллекторы, образованные отверстиями в углах штампованных 8 и плоских 10 пластин и элементами уплотнений 9. В месте входа греющей или охлаждающей среды из коллектора в свой рабочий объем уплотнение 9 разомкнуто. Рабочие объемы со стороны каждой из сред образованы плоскими пластинами 7 или 10 и штампованными пластинами 8 со сферообразными выступами и впадинами и с уплотнениями 9.

Рабочие объемы представляют собой систему параллельных каналов. Охлаждающая и греющая среды движутся в параллельных каналах в обозначенных стрелками на рис. 2 направлениях. При движении в каналах в присутствии искусственных гидравлических сопротивлений – сферообразных выступов и впадин – потоки охлаждающей и греющей сред не могут стабилизироваться и интенсивно обмениваются теплом. Далее через отверстия в углах пластин 8 и 10 с разомкнутыми уплотнениями 9 поступают в соответствующие выходные коллекторы и через патрубки 12 плоских пластин 7 и отводящие патрубки 5 и 6 отводятся из теплообменника. Все пластины и уплотнения при помощи стяжек 11 зажаты между нажимными плитами 1 и 2, чем достигается герметичность всего теплообменника. Сферообразные выступы и впадины штампованных пластин 8 имеют одинаковую высоту над плоскостью пластины.

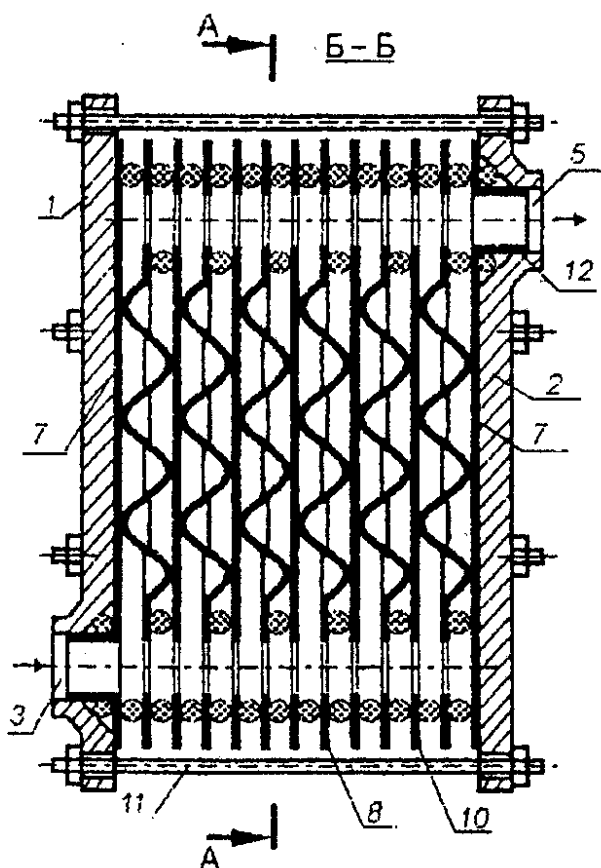


Рис. 1. Принципиальная схема пластинчатого теплообменника

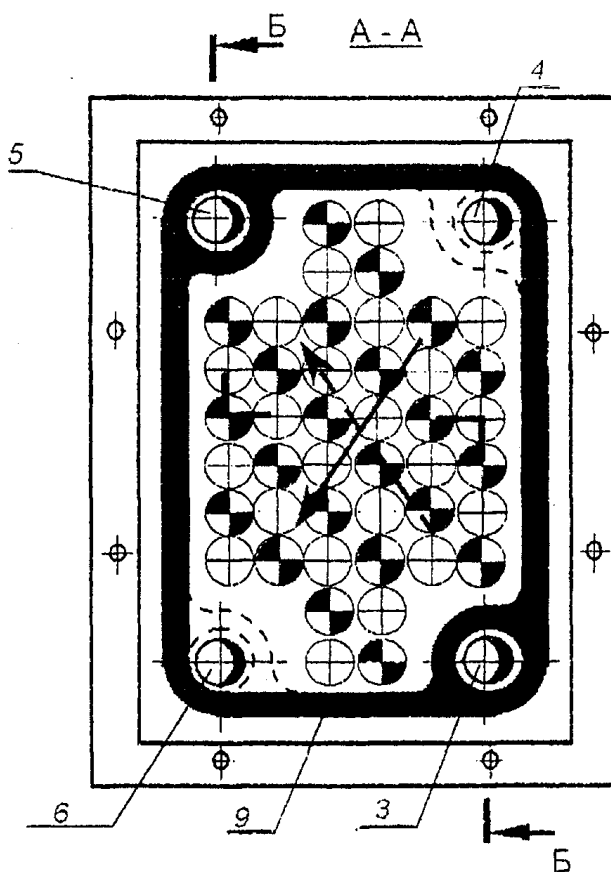


Рис. 2. Разрез А-А. Штампованная пластина с уплотнением

Предложенная конструкция позволяет на основе качественных оценок спрогнозировать следующие ожидания:

- снижение гидравлического сопротивления;
- надежную герметизацию изделия за счет применения в пакете наряду со штампованными пластинами обладающих повышенной гибкостью плоских пластин без уменьшения прочности пакета в целом;
- упрощение технологии изготовления пластин;
- защита от коррозии нажимных плит за счет плоских пластин с защитными патрубками и повышение срока службы изделия;
- повышение интенсивности теплопередачи за счет подбора толщины плоских и штампованных пластин.

Техническое решение [7] определило направление следующих изысканий. Далее на основе опыта работ с импортными теплообменными пластинами были выбраны габаритные размеры собственно теплообменной поверхности в плане и толщина щели теплообменного канала. Для принятых размеров была определена представленная на рис. 3 зависимость поверхности теплообмена от количества сферообразных выступов (впадин).

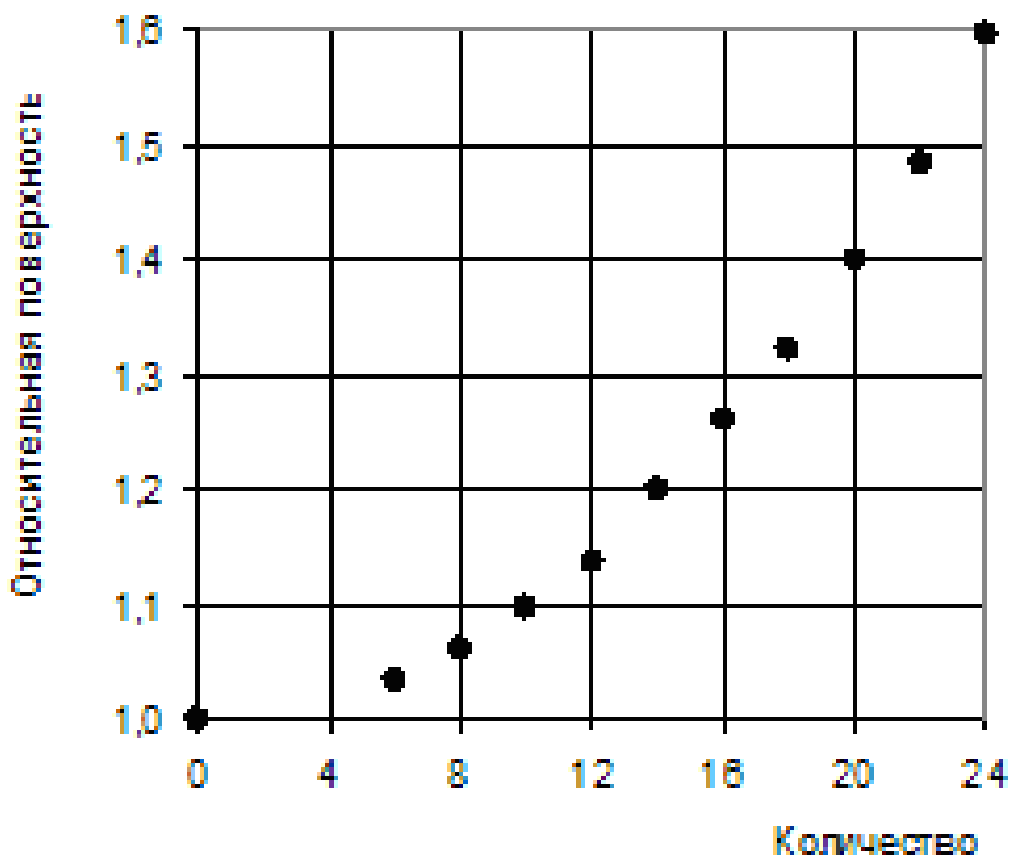


Рис. 3. Зависимость поверхности теплообмена от количества выступов (впадин)

Оценки показали, что при выбранной толщине щели канала поверхность штампованной теплообменной поверхности превосходит поверхность плоской пластины с одинаковыми габаритными размерами в плане на величину до 60%. При этом необходимым условием является, чтобы количество выступов и количество впадин на одной оси по ширине теплообменной поверхности было одинаковым. Такой подход гарантирует постоянство площади живого сечения канала вдоль всей теплообменной поверхности и равенство его площади живого сечения канала между плоскими пластинами при одинаковой толщине щели. Оценки выполнены в предположении, что высота выступов равна толщине щели теплообменного канала, а каждый последующий ряд выступов (впадин) вдоль поверхности теплообмена расположен без зазора.

Опыт разработки и эксплуатации пластинчатых теплообменников показал, что для оценки возможных границ теплотехнических характеристик необходимо проведение расчетных изысканий при ламинарном, переходном и турбулентном режиме течения греющей и нагреваемой рабочих сред на основе имеющихся рекомендаций по теплообмену. В качестве опорной (исходной) информации для принятия конкретных конструктивных решений были выполнены оценки с учетом рекомендаций [8, 9] ряда характеристик при течении греющей и нагреваемой сред в плоской щели шириной 1...5 мм.

Результаты оценок представлены:

- на рис. 4 в виде зависимости относительной длины ($L/Dг$) стабилизации от числа Рейнольдса (Re);
- на рис. 5 в виде зависимости среднего коэффициента теплоотдачи от толщины щели после стабилизации течения;
- на рис. 6 в виде зависимости коэффициента теплоотдачи от толщины щели на участке длиной 1 мм при $Re = 2300$.

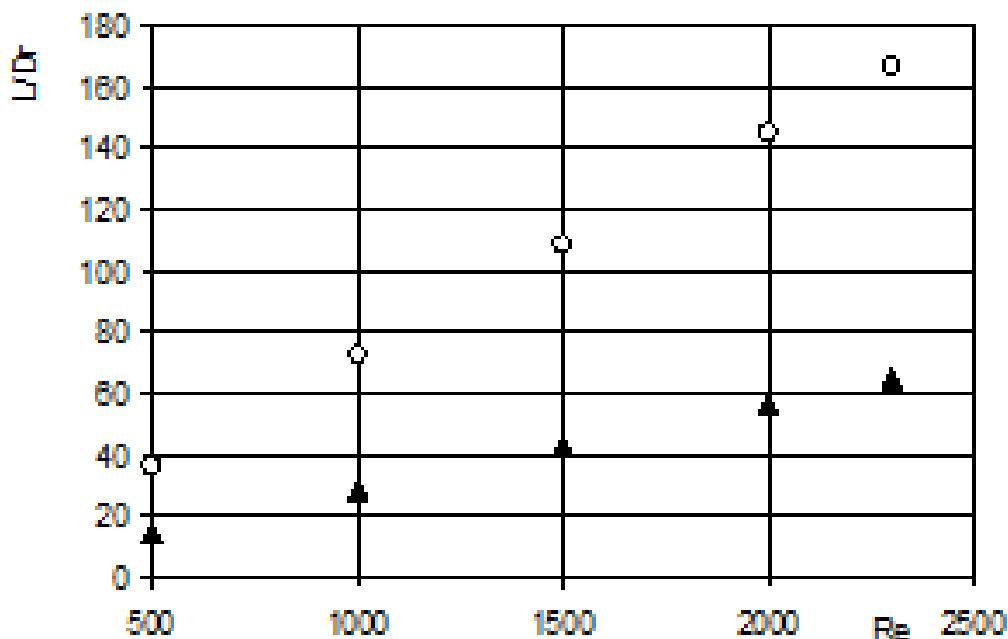


Рис. 4. Зависимость относительной длины стабилизации от числа Рейнольдса:

▲ – греющая среда; ○ – нагреваемая среда

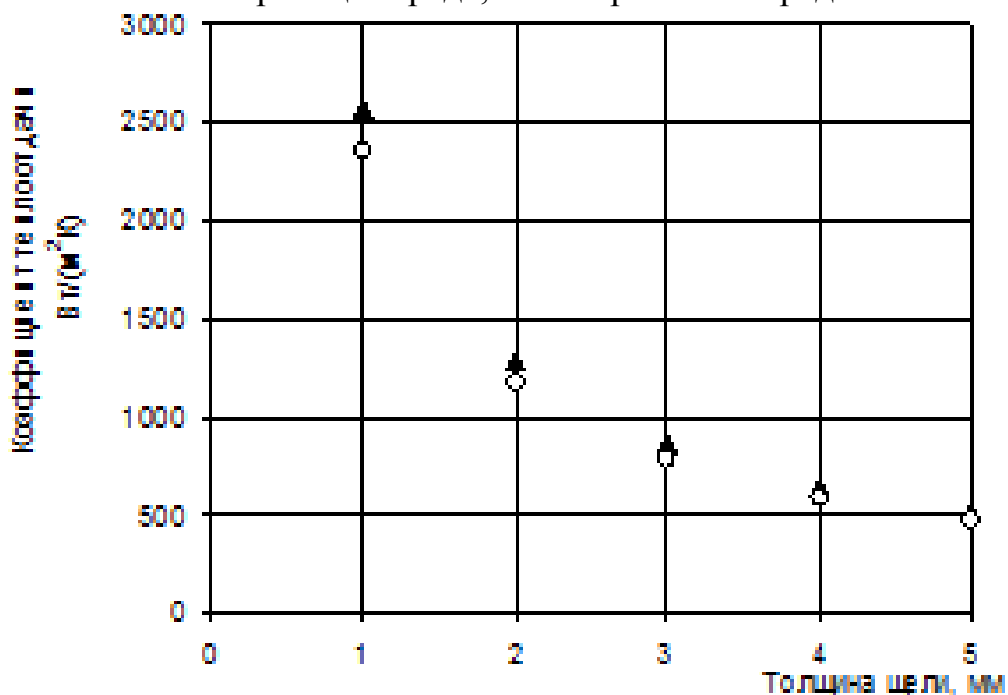


Рис. 5. Зависимость коэффициента теплоотдачи от толщины щели после стабилизации: ▲ – греющая среда; ○ – нагреваемая среда

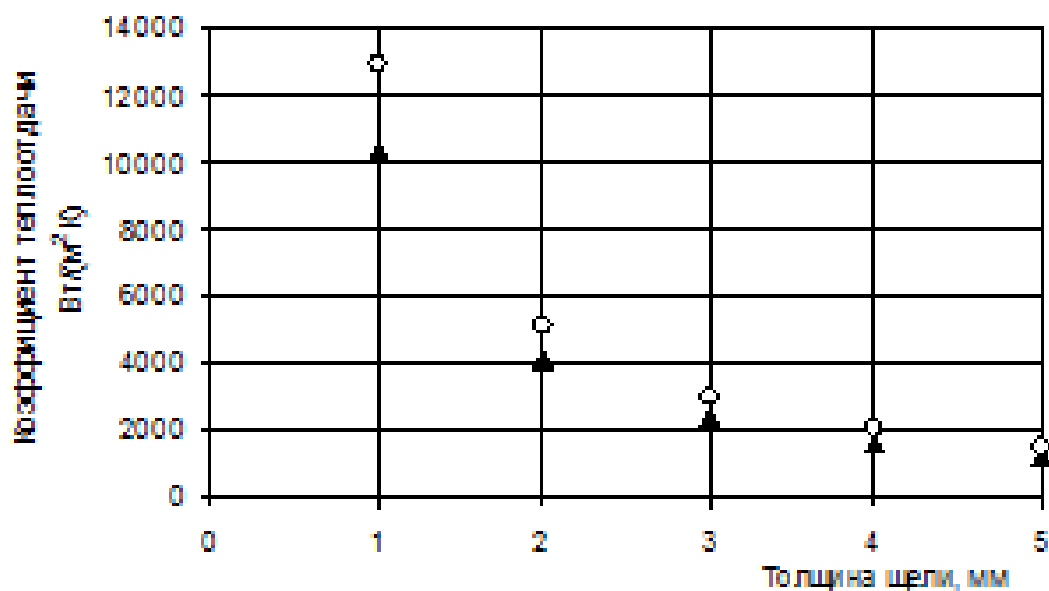


Рис. 6. Зависимость коэффициента теплоотдачи от толщины щели на длине 1 мм: ▲ – греющая среда; ○ – нагреваемая среда

Все оценки выполнены для температурного графика ($t_{\text{вход}} / t_{\text{выход}}$) по греющей воде – (110/70°C), по нагреваемой воде – (5/60°C).

Анализ представленных результатов показал:

- длины стабилизации в зависимости от толщины плоской щели могут иметь заметную величину в сравнении с протяженностью теплообменной поверхности, но в области имеющих практическое применение толщин щелей более 2 мм, но менее 5 мм сопровождаются средними коэффициентами теплоотдачи менее 1000 Вт/(м² К);
- даже на участках плоских щелей малой протяженности и толщиной более 2 мм, но менее 5 мм в зоне нестабилизированного ламинарного течения средние коэффициенты теплоотдачи не превышают 2000...4000 Вт/(м² К).

Соответственно при работе в области ламинарных течений нежелательным является наличие плоских щелей в теплообменных каналах пластинчатых теплообменников из-за низкой интенсивности теплообмена даже при малой протяженности каналов.

С учетом полученных результатов для плоских каналов (щелей) стратегия оценок теплотехнических характеристик была скорректирована. Далее для принятых габаритных размеров теплообменной поверхности в плане и шаге образующих теплообменный канал пластин, ранее обозначенном как толщина щели, была выбрана штампованная пластина с шестнадцатью сферообразными выступами и впадинами по ширине теплообменной поверхности. Выбранное изделие имело поверхность теплообмена наиболее близкую к теплообменной поверхности пластины – прототипа. Для образованного штампованной и

плоской пластинами канала с учетом шахматного расположения выступов и впадин (см. рис. 2) были определены гидравлический диаметр и протяженность характерных участков. Затем были выполнены оценки интенсивности теплообмена для данного и плоского канала с одинаковым шагом пластин на границах ламинарного (при $Re = 2300$) и переходного режимов течения (при $Re = 5000$), а также для турбулентного режима в диапазоне $Re = 6000 \dots 25000$. Результаты оценок (см. рис. 7) показывают соотношение коэффициентов теплоотдачи в образованном штампованной и плоской пластинами канале и плоской щели.

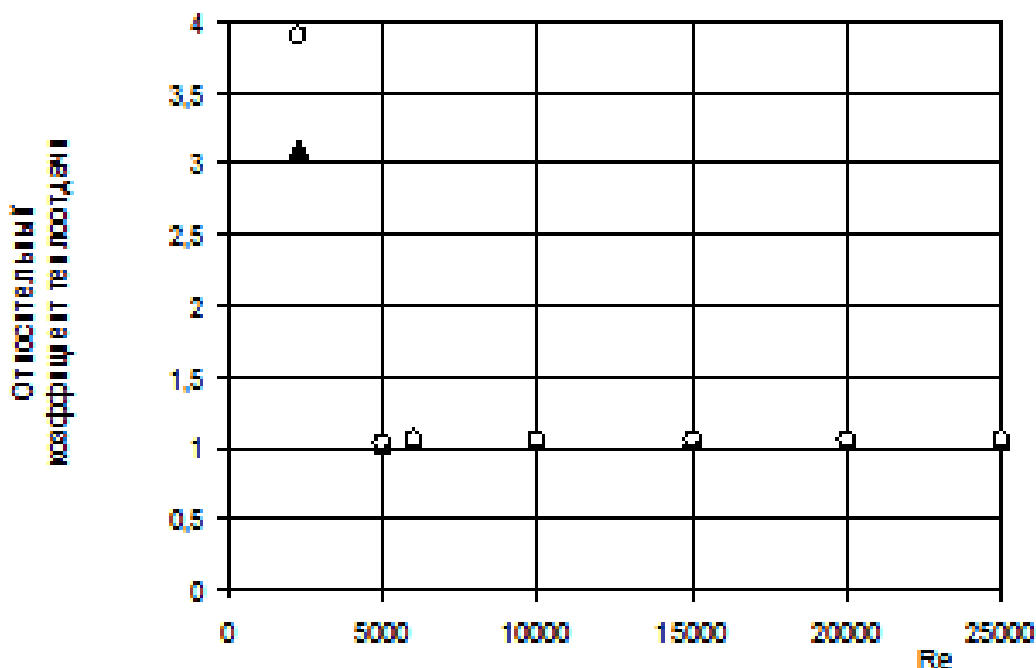


Рис. 7. Зависимость коэффициента теплоотдачи от числа Рейнольдса:

▲ — греющая среда; ○ — нагреваемая среда

В ламинарном режиме новое изделие за счет нестабильного процесса на относительно коротких характерных участках имеет более высокую интенсивность теплообмена. На верхней границе переходного режима интенсивности теплообмена в сравниваемых каналах сближаются. В зоне турбулентного течения с учетом принятых допущений можно ожидать близкой интенсивности теплообмена в сравниваемых каналах, хотя эта оценка не представляется бесспорной. В качестве дополнительной информации для анализа полученных результатов на рис. 8 представлена зависимость скорости среды в плоском канале от числа Рейнольдса (Re).

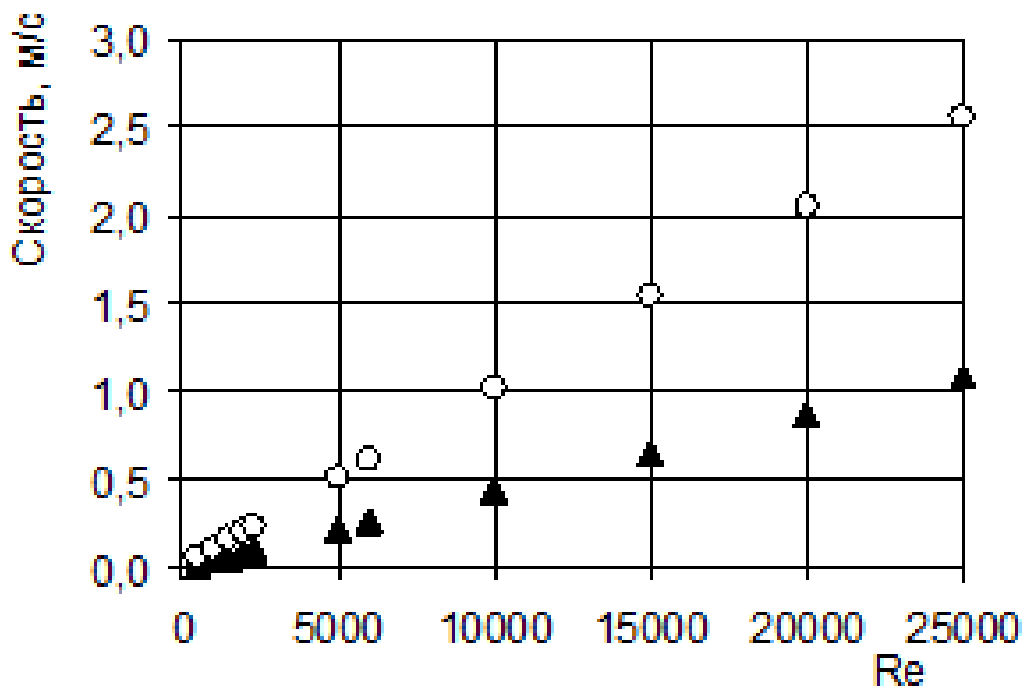


Рис. 8. Зависимость скорости среды в плоской щели от числа Рейнольдса:

▲ – греющая среда; ○ – нагреваемая среда

Выполненные оценки показывают, что коэффициенты теплоотдачи в плоской щели при ее соответствующей прототипу толщине и при $Re = 25000$ составляют $\sim 9000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ и $\sim 12000 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \text{ К})$ для греющей и нагреваемой среды при скоростях $\sim 1,1 \text{ м/с}$ и $\sim 2,6 \text{ м/с}$ соответственно.

На следующем этапе изысканий для греющей среды на границах ламинарного (при $Re = 2300$) и переходного режимов течения (при $Re = 5000$), а также для турбулентного режима в диапазоне $Re = 6000 \dots 25000$ были определены соответствующие значения чисел Рейнольдса для нагреваемой среды. Оценка основывалась на связи скоростей греющей и нагреваемой воды со своими перепадами температур при фиксированном тепловом потоке. Далее для канала, образованного ранее выбранной штампованной пластиной с шестнадцатью сферообразными выступами и впадинами по ширине и плоской пластиной были определены:

- коэффициенты теплоотдачи со стороны рабочих сред,
- коэффициенты теплопередачи для штампованной толщиной $0,5 \text{ мм}$ и плоской толщиной $0,25 \text{ мм}$ пластин (см. рис. 9).

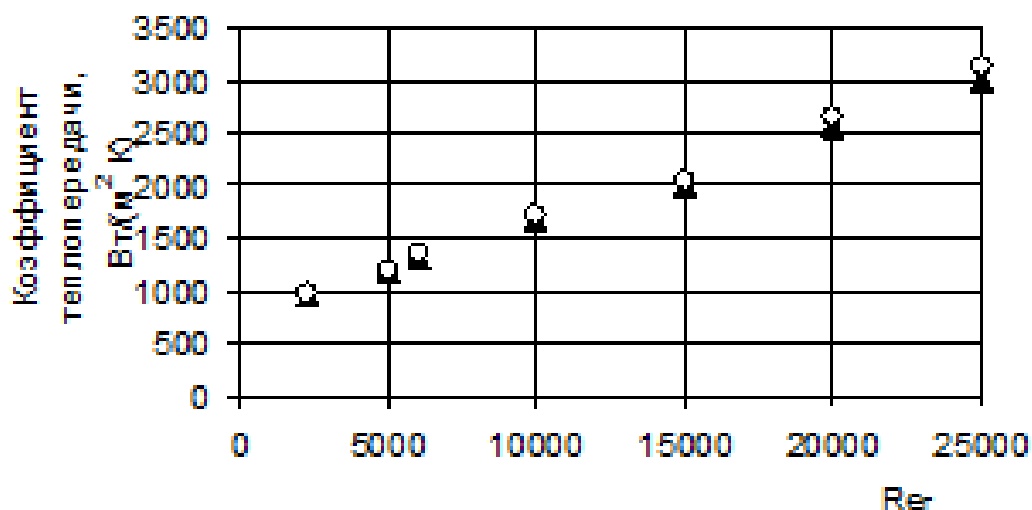


Рис. 9. Зависимость коэффициента теплопередачи от числа Рейнольдса со стороны греющей среды: ▲ – греющая среда; ○ – нагреваемая среда

Толщина штампованной пластины была назначена по аналогии с зарубежными прототипами. Толщина плоской пластины назначена из соображений обеспечения гибкости для обеспечения плотности теплообменника. Следует отметить, что в рассмотренном диапазоне чисел Рейнольдса коэффициенты теплопередачи для обеих пластин возрастают примерно ~ 3 раза по мере роста коэффициентов теплоотдачи. При этом коэффициенты теплопередачи для обеих пластин при фиксированных значениях Re_r имеют близкие значения. Из полученных результатов следует, что удельные тепловые потоки для данных пластин будут иметь близкие значения, а тепловые потоки будут отличаться пропорционально теплообменным поверхностям.

Заключение и выводы

По результатам проделанной работы с учетом принятых допущений можно сделать следующие выводы:

- при выбранном шаге образующих теплообменный канал пластин (толщине щели канала) поверхность штампованной пластины со сферообразными выступами и впадинами превосходит поверхность плоской пластины с одинаковыми габаритными размерами в плане на величину до 60%;
- одинаковое количество выступов и количество впадин на одной оси по ширине теплообменной поверхности гарантирует постоянство площади живого сечения канала вдоль всей этой поверхности и равенство его площади живого сечения канала между плоскими пластинами при одинаковой толщине щели;
- нежелательным является наличие участков в виде плоских щелей в теплообменных каналах пластинчатых теплообменников, так как при

- работе в области ламинарных течений в них реализуется низкая интенсивность теплообмена даже при малой протяженности этих участков;
- в теплообменном образованном штампованной и плоской пластинами канале при наличии искусственных гидравлических сопротивлений – сферообразных выступов и впадин;
 - в ламинарном режиме можно обеспечить относительно высокую интенсивность теплообмена;
 - на верхней границе переходного режима и в области турбулентного течения с учетом принятых допущений можно ожидать интенсивности теплообмена близкой к аналогичной характеристике в плоской щели, хотя эта оценка не представляется бесспорной, так не учитывает влияние на теплообмен (кроме геометрических характеристик) выступов и впадин;
 - в рассмотренном диапазоне чисел Рейнольдса коэффициенты теплопередачи для штампованной и плоской пластин возрастают примерно ~3 раза по мере роста коэффициентов теплоотдачи;
 - коэффициенты теплопередачи и удельные тепловые потоки при принятых толщинах для штампованной и плоской пластин и фиксированных значениях чисел Рейнольдса имеют близкие значения, а тепловые потоки отличаются пропорционально теплообменным поверхностям.

В заключение можно констатировать, что предложен алгоритм обоснования технического решения [7] с учетом существующих научно-технических рекомендаций. Данный подход позволил сформулировать конкретные рекомендации по выбору поверхности пластины, количеству выступов и впадин по ширине пластины, нежелательности наличия участков в виде плоских щелей в теплообменных каналах. При этом следует отметить, что выполненные оценки теплотехнических характеристик только частично учитывают влияние сферобразных выступов и впадин на интенсивность теплообмена. Соответственно следующий этап изысканий необходимо направить на определение влияния конструктивных особенностей теплообменных каналов на интенсивность теплообмена. Далее необходимо провести сравнение теплотехнических характеристик технического решения [7] с зарубежными аналогами.

Библиографический список

1. Теплообменник пластинчатого типа. Заявка № 1400794, Великобритания, 23.07.1975 г.
2. Пластинчатый теплообменник. Авторское свидетельство № 497 460, 03.06.1970 г.
3. Пластинчатый теплообменник. Патент на изобретение № 462355, Великобритания, 19.01.1967 г.
4. Пластина теплообменника. Патент на изобретение № 467527, Швеция, 08.10.1971 г.
5. Пакет пластин для теплообменника. Патент на изобретение RU 2164332, 02.03.1999 г.

6. Барановский, Н.В., Коваленко, Л.М., Ястребенецкий, А.Р. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н.В. Барановский, Л.М. Коваленко, А.Р. Ястребенецкий. – М.: Машиностроение, 1973.
7. Пластинчатый теплообменник. Патент на изобретение № 2188375, 28.12.2000 г.
8. Михеев, М.А., Михеева, И.М. Основы теплопередачи / М.А. Михеев, И.М. Михеева. – М.: Энергия, 1977.
9. Кутателадзе, С.С., Боришанский, В.М. Справочник по теплопередаче / С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский, В.М. – М.-Л.: ГЭИ, 1959.

Сведения об авторах

ФИО Прохоров В.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 3817-3390
e-mail Proxogov_lta@mail.ru

ФИО Куликов А.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 7746-2999
e-mail ltuttsu@mail.ru

ФИО Иванова И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

Аннотация

В настоящей статье представлена информация о выборе конструкции конкурентоспособного разборного водо-водяного пластинчатого теплообменника и обосновании его теплотехнических характеристик. Для обоснования были использованы методические подходы на основе существующих научно-технических рекомендаций. На основе данных подходов

определены конкретные рекомендации по конструкции изделия. Определено направление следующего этапа обоснования теплотехнических характеристик изделия.

Ключевые слова: пластинчатый теплообменник; теплоиспользующая установка; водяной теплоноситель; теплообменная пластина; уплотнительные элементы; теплотехнические характеристики; коэффициент теплоотдачи; коэффициент теплопередачи; тепловой поток; plate heat exchanger; heat-using plant; water heat carrier; heat-exchange plate; sealing elements; heat engineering characteristics; heat transfer coefficient; heat transfer coefficient; heat flow.

УДК 621.565.944.1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 44.31.35

Разработка фильтра механического для очистки воды

Прохоров В.А., Куликов А.А., Иванова И.В.

Введение

В 1997 – 2000 г.г. по заказам различных филиалов ГУП «ТЭК» в г. Санкт-Петербурге были выполнены проектные работы по реконструкции теплоиспользующих установок. Анализ условий эксплуатации и возникающих в ходе ее нарушений в работе оборудования до и после реконструкции указал на необходимость постоянной эффективной очистки воды от механических примесей.

Реконструируемые объекты в указанный период оснащались фильтрами для механической очистки теплоносителей. При этом широкое распространение получили конструкции с высокой скоростью очищаемой воды – высокоскоростные фильтры. Данные изделия из-за сравнительно малых габаритов имели определенные преимущества при компоновке трубопроводных систем в ограниченном пространстве тепловых пунктов.

Однако границы реконструкции, как правило, не затрагивали сторону источника тепла – тепловые сети. Соответственно нагрузка на систему механической очистки до и после реконструкции сохранялась. При этом фильтрующие элементы достаточно быстро, иногда в пределах одной восьмичасовой рабочей смены, засорялись и не обеспечивали необходимого качества воды.

В сложившейся ситуации приводились оперативные мероприятия по защите чувствительного к загрязнениям рабочей среды современного высокотехнологичного оборудования (устройства для измерения расхода воды, пластинчатые теплообменники, арматура). В результате возросла нагрузка на

технический персонал, увеличились сроки сдачи подрядными организациями объектов после реконструкции.

Цели и задачи

Для решения описанных выше проблем была выполнена инициативная работа. Ее цель состояла в создании благоприятных условий эксплуатации высокотехнологичного оборудования с помощью фильтра механического для непрерывной очистки воды в период между плановыми обслуживаниями теплоиспользующих установок.

Собственный опыт эксплуатации установок после реконструкции и анализ конструкций фильтров для механической очистки воды в системах теплоснабжения по представленным в технических источниках данным выявили:

- сложность решаемой проблемы,
- множество частных предлагаемых решений и отсутствие универсальных подходов,
- необходимость обоснования работоспособности новой конструкции в ходе испытаний на моделях и в период опытной эксплуатации.

В качестве области применения изделия была определена механическая водоочистка в водогрейных (с электрическим или иным видом подогрева) и теплоиспользующих установках. Изделие предназначалось для очистки воды от взвешенных частиц органического и неорганического происхождения при подаче на подогрев в водогрейную установку (например, с электрическим котлом) или на подогрев охлаждение в теплообменник теплоиспользующей установки.

Достижение обозначенной выше цели потребовало решения целого ряда задач, включающих:

- разработку отличающегося новизной технического решения (задача № 1);
- разработку рабочей конструкторской документации фильтра и блока фильтров, модели фильтра и стенда для испытаний модели (задача № 2);
- изготовление блока фильтров, модели фильтра и стенда для испытаний модели (задача № 3);
- опытную эксплуатацию блока фильтров (задача № 4) и стендовые испытания модели фильтра (задача № 5).

Методика исследования

В результате решения задачи № 1 была предложена конструкция фильтра в двухкорпусном исполнении с однотипными фильтрующими элементами в каждом корпусе (рис. 1).

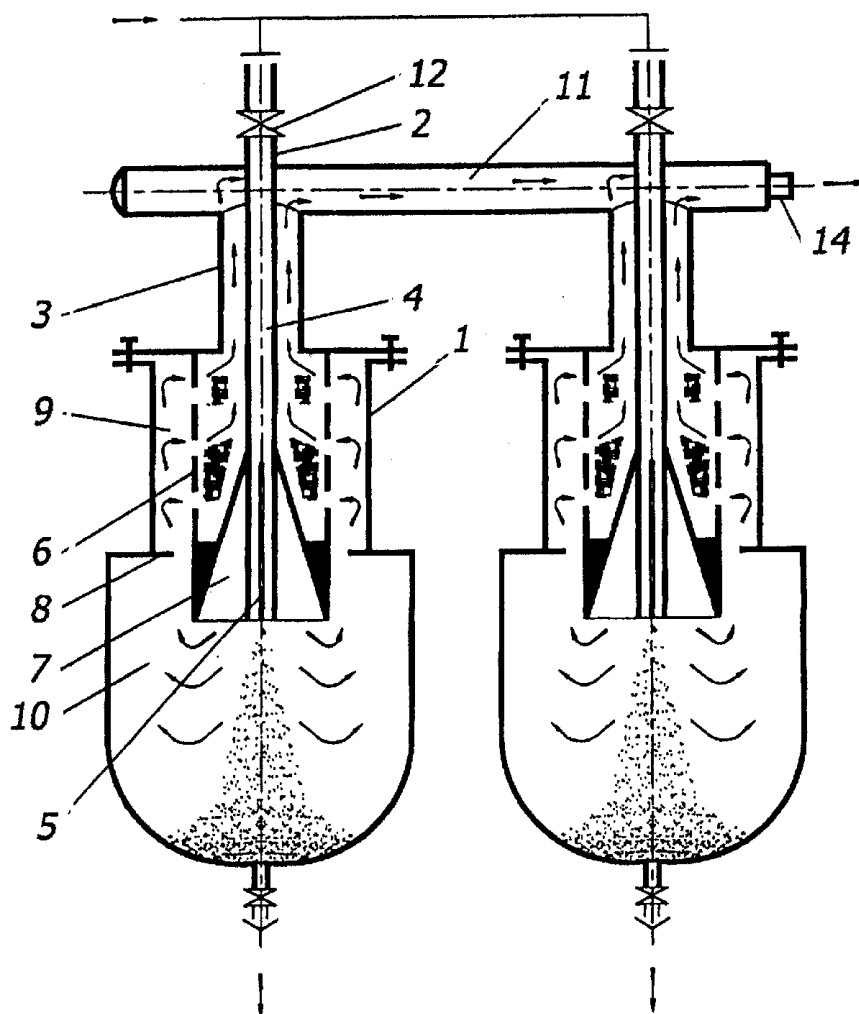


Рис. 1. Фильтр в двухкорпусном исполнении

Данная конструкция защищена патентом [1]. В качестве прототипа рассматривалось решение [2]. Предполагаемый технический результат решения [1] – повышение эффективности очистки жидкости от механических включений при малом гидравлическом сопротивлении. Также после решения задачи № 1 был определен составивший полный объем разработки задачи № 2 – 5.

Предложенная конструкция фильтра работает следующим образом. Рабочая содержащая механические примеси среда подается в каждый корпус 1 через входной патрубок 2 и далее в трубу 4 и под давлением растекается через продольные щелевые прорези 5 в диффузор 7 и далее в нижнюю часть 10 корпуса 1. Там за счет снижения скорости жидкости происходит выпадение крупнодисперсных загрязнений на нижнее днище. Снижение скорости в большом объеме исключает подхват крупнодисперсных механических примесей (первая ступень очистки) и дальнейшее их движение с потоком жидкости, а дроссельная кольцевая диафрагма 8 исключает увеличение расхода и скорости выше расчетного значения. Свободная от крупных механических примесей

вода через кольцевую щель между верхней 9 и нижней 10 частями корпуса 1 поступает к мелкоячеистой сетке фильтрующего элемента 6, на которой улавливаются более мелкие фракции загрязнения (вторая ступень очистки). Очищенная от примесей вода поступает из корпуса 1 фильтра через выходной патрубок 3 в общий коллектор 11, из которого в систему технологической установки. При параллельном включении двух фильтров по ходу рабочей жидкости очищенная от примесей вода поступает из корпуса 1 каждого фильтра через выходной патрубок 3 в общий коллектор 11. При эксплуатации фильтра возможно восстановление эффективности очистки и надежности работы (регенерация) любого из корпусов без остановки технологической установки и разборки корпусов фильтра. Для этого закрывается входной вентиль 12, открывается дренажный вентиль и обратным током очищенной воды из коллектора происходит промывка отключенного корпуса с фильтрующим элементом и отвод механических примесей в дренаж.

В качестве объекта для назначения проектных характеристик изделия и последующей опытной эксплуатации была выбрана действующая лабораторная водогрейная установка на базе электродогревателя ЭК-600 мощностью 30 кВт. Данная установка является автономной, обеспечивает горячее водоснабжение ограниченного количества потребителей, питается водой из водопровода. Система водоснабжения (водопровод) имеет длительный срок эксплуатации и, как показало обслуживание электродогревателя, является поставщиком большого количества механических загрязнений. В ходе решения задачи № 2 были:

- определены характеристики водопотребителей и максимальный расход воды, поступающей через механический фильтр на подогрев в электродогреватель, с учетом рекомендаций [3];
- выполнен анализ гидравлических процессов, протекающих в каналах изделия и влияющих на качество фильтрования воды, и на его основе с учетом рекомендаций технической литературы [4 – 8] определены гидравлические характеристики (скорости воды, проходные сечения, коэффициенты гидравлических сопротивлений) каналов, включая фильтрующий элемент – сетку по ГОСТ 3187-76;
- выбраны габаритные и присоединительные размеры изделия и размеры внутрикорпусных устройств;
- определены потери давления в каналах фильтра при чистом фильтрующем элементе;
- выполнена конструкторская разработка изделий на основе проведенной оценки геометрических и гидравлических характеристик фильтра.

Далее на основе рабочей конструкторской документации была решена задача № 3, включающая изготовление блока фильтров, модели фильтра и стенда для испытаний модели.

После этапа изготовления изделий был выполнен монтаж блока фильтров механических на линии подачи водопроводной воды в электрочайник ЭК-600, проведена очистка внутренних полостей котла от механических отложений и запущена в опытную эксплуатацию водогрейная установка с системой механической водоочистки.

Одновременно был выполнен монтаж стенда для испытания модели фильтра. Область применения модели фильтра – исследование процессов механической водоочистки. Назначение модели фильтра – очистка воды от искусственно введённых загрязнений – взвешенных частиц органического и неорганического происхождения в специализированном испытательном стенде, визуализация процессов отделения взвешенных частиц от потока воды в нижнем объеме корпуса модели фильтра (первая ступень очистки). Для визуализации процессов цилиндрическая часть корпуса модели фильтра была изготовлена из органического бесцветного и прозрачного стекла ТОСС 12 по ГОСТ 17622-72.

В ходе опытной эксплуатации водогрейной установки с системой механической водоочистки ежедневно в журнале регистрации фиксировались показания счетчиков учета расхода воды на электрочайник и параметры среды в водопроводе. Далее планировалось по истечении длительной эксплуатации останов и ревизия водогрейной установки с целью определения эффективности работы системы механической водоочистки. При этом предполагалось определение количества отложений в котле, нижнем объеме и на фильтрующем элементе (сетке) фильтра.

Методика проведения эксперимента на специализированном стенде с моделью фильтра включала подготовительный этап, испытания, обработку результатов испытаний.

На подготовительном этапе:

- готовилось искусственное механическое загрязнение с определенными линейными размерами и в необходимом количестве (вес, объем) – просеянный через сетки с определенным размером ячейки кварцевый песок;
- проводилось взвешивание фильтрующего элемента модели фильтра (сетки) и сменных картриджей, установленных до и после стенда фильтров «Аквафор»;
- разрабатывалась и монтировалась система измерений, выбирались и опробывались измерительные приборы.

На этапе испытаний:

- проводилась окончательная сборка стенда с системой измерений (рис. 2);
- засыпалось подготовленное искусственное механическое загрязнение в специальную емкость G ;
- открывалась/закрывалась в определенной последовательности шаровая арматура $1...9$ для заполнения водопроводной водой элементов стенда и удаления воздуха, в том числе через заглушку 15 ;
- подключались и продувались линии отборов на измерительные приборы;
- устанавливалось рабочее давление в стенде;
- обеспечивалась прокачка воды через фильтр предварительной очистки 13 , специальную емкость G с механическим загрязнением, модель фильтра F и фильтр очистки 14 в техническую канализацию;
- в течение эксперимента регистрировались:
 - время проливки с помощью секундомера,
 - показания термодары t , манометра P , дифманометра ΔP , счетчика потребления воды R с интервалом в 2 минуты;
 - прокачка воды через стенд завершалась через 3 минуты после исчерпания запаса механического загрязнения.

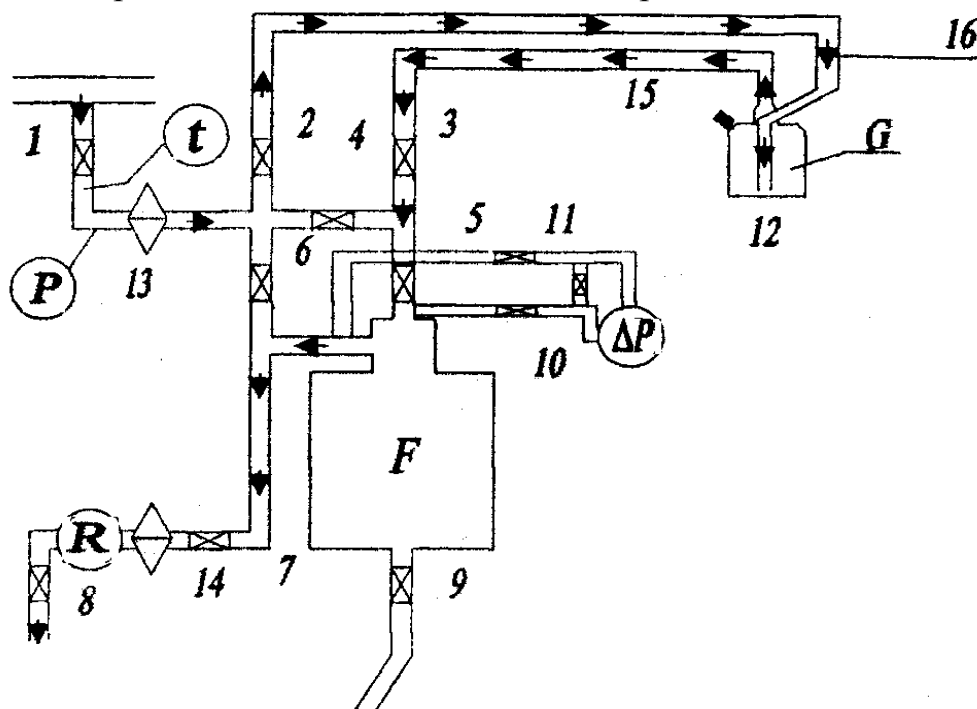


Рис. 2. Схема стенда с системой измерений

На этапе обработке результатов измерений проводились:

- слив воды из объема модели фильтра F по линии с шаровой арматурой 9 в специальную емкость, выпаривание воды, получение и взвешивание сухого остатка;

- демонтаж, просушка и взвешивание фильтрующего элемента (сетки) модели фильтра F ;
- демонтаж, просушка и взвешивание сменных картриджей фильтров «Аквафор» $I3$ и $I4$;
- сравнение исходной массы механического загрязнения, загруженного в специальную емкость G с массой загрязнения:
- осевшего в нижнем объеме корпуса модели фильтра (первая ступень очистки),
- задержанного в фильтрующем элементе модели фильтра (сетка – вторая ступень очистки);
- задержанного в картридже фильтра «Аквафор» $I4$.

Отношение массы удаленных на первой и второй ступенях очистки механических загрязнений к их исходной массе определяло эффективность работы фильтра.

Результаты и обсуждение исследований

В результате наблюдений в течение более одного года за работой системы механической водоочистки на входе в электродомоводяной котел было установлено суточное и среднесуточное потребление воды. Фрагмент результатов наблюдений представлен на рис. 3.

Относительный расход был определен через отношение суточного потребления воды к среднесуточному. Разброс нагрузки на систему водоочистки соответствовал текущим производственно-бытовым потребностям лаборатории.

В результате первого (пилотного) эксперимента на стенде с моделью фильтра механического было установлено следующее:

- после пускового периода устанавливаются стабильные параметры (температура, давление, перепад давления и расход) рабочей среды;
- количество механических загрязнений, задержанное на входе в стенд фильтром «Аквафор» $I3$, составило 0,2% по отношению к искусственному механическому загрязнению;
- количество механических загрязнений, осевшее в нижней части корпуса (первая ступень очистки) – 98,6%;
- количество механических загрязнений, задержанное в фильтрующем элементе модели фильтра (сетка – вторая ступень очистки) – 1,2%;
- невязка между количеством механического загрязнения, загруженным в специальную емкость G в начале эксперимента, и количеством механического загрязнения, задержанным в элементах фильтра, составило 0,2%.

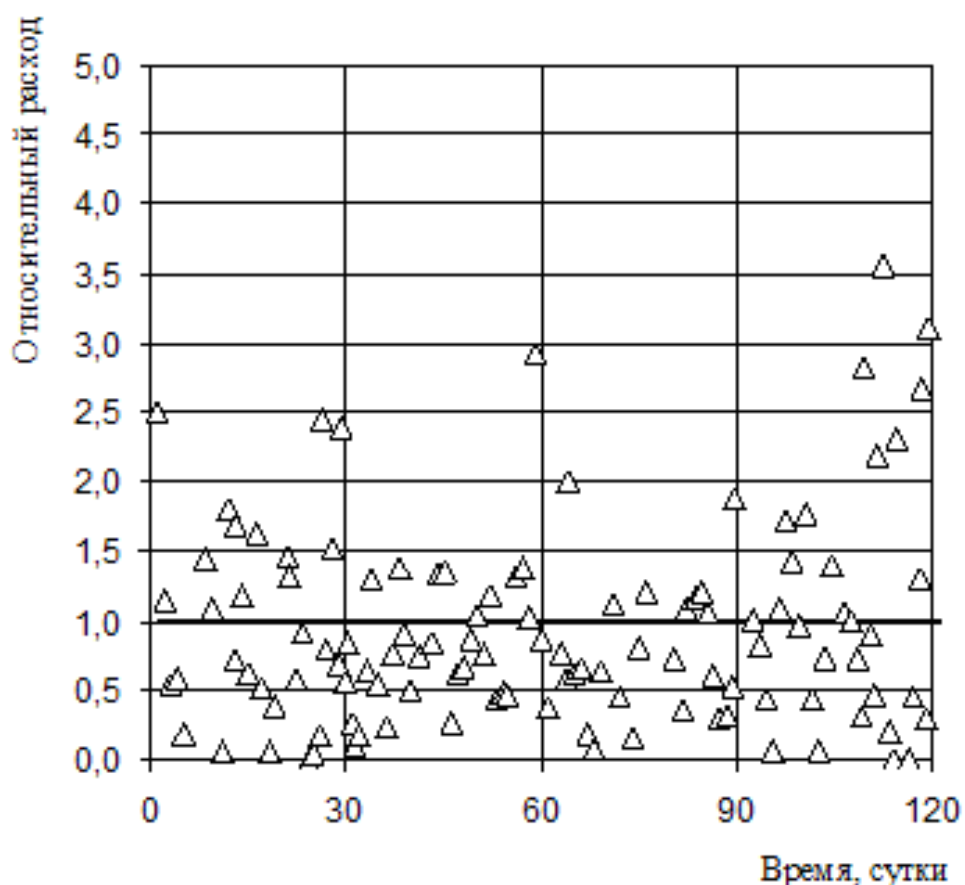


Рис. 3. Изменение суточного расхода воды

На основе анализа приведенного объема информации следует отметить, что испытания фильтра в двухкорпусном исполнении совмещенные с эксплуатацией в составе водогрейной установки позволяют:

- контролировать накопление механических отложений в котле и элементах фильтра (нижней части корпуса и фильтрующем элементе);
- контролировать посредством пробоотбора исходное (до системы водоочистки) и конечное (при непосредственном водоразборе) содержание механических примесей в водопроводной воде и набирать статистику этих параметров;
- контролировать текущую эффективность фильтра;
- отлаживать технологию восстановления (регенерации) эффективности очистки фильтра;
- накапливать механические отложения (сухой остаток) для проведения испытаний на специализированном стенде с моделью фильтра механического.

Испытания модели фильтра механического позволяют:

- определить влияние размеров корпуса фильтра, в частности диаметра и высоты нижней части, размеров механического загрязнения, размера ячейки фильтрующего элемента на эффективность фильтра;
- определить условия эффективной работы фильтра при использовании накопленных на действующем объекте механических загрязнений.

Заключение и выводы

По результатам выполненной работы можно сделать следующие выводы:

1) в конструкции фильтра механического для очистки воды представляется обоснованной организация, как минимум, двухступенчатой очистки и использование объема, где за счет снижения скорости воды происходит выпадение крупнодисперсных загрязнений;

2) применение фильтра в двухкорпусном исполнении за счет реализации технологии его восстановления (регенерации) позволяет обеспечить непрерывную очистку воды в период между плановыми обслуживаниями теплоиспользующих установок и создать благоприятные условия эксплуатации высокотехнологичного оборудования;

3) испытания автономного стенда с моделью фильтра механического помогают оценить условия эффективной работы фильтра для конкретной теплоиспользующей установки с учетом присущих ей механических загрязнений.

В заключение можно констатировать, что предложен алгоритм поиска технического решения – фильтра механического для очистки воды. Представленная конструкция обеспечивает эффективную очистку рабочей среды и благоприятные условия эксплуатации оборудования теплоиспользующих установок. Данный подход может быть использован как для разработки фильтров разных конструкций (частных технических решений), так и для формирования типоразмерного ряда фильтров с соответствующим диапазоном характеристик (температура, давление, расход, сопротивление, эффективность очистки).

Библиографический список

1. Патент на изобретение № 2329086. Фильтр механический.
2. Авторское свидетельство SU 1717170. Устройство для очистки жидкости от загрязнений.
3. СНиП 2.04.01-85 Внутренний водопровод и канализация зданий.
4. *Щекин, Р.В., Корневский С.М., Беём, Г.Е., Скороходько, Ф.И., Артюшенко, М.А.* Справочник по теплоснабжению и вентиляции. Отопление и теплоснабжение / Р.В. Щекин [и др.]. – Киев: изд-во "Будивельник", 1968 г.
5. *Вукалович, М.П., Ривкин, С.Л., Александров, А.А.* Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара / М.П. Вукалович, С.Л. Ривкин, А.А. Александров. – М.: изд-во Стандартов, 1969 г.

6. *Идельчик, И.Е.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975 г.
7. *Кутателадзе, С.С., Боришанский, В.М.* Справочник по теплопередаче / С.С. Кутателадзе, В.М. Боришанский. – М.-Л.: ГЭИ, 1959 г.
8. Методические указания. Тепловой и гидравлический расчет теплообменного оборудования. АЭС. РД 24.035.05-89. – Л.: НПО ЦКТИ, 1991 г.

Сведения об авторах

ФИО Прохоров В.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3817-3390
e-mail Proxorov_lta@mail.ru

ФИО Куликов А.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7746-2999
e-mail ltuttsu@mail.ru

ФИО Иванова И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

Аннотация

В настоящей статье представлены отдельные результаты разработки фильтра механического для очистки воды. Разработка выполнена на основе нового технического решения. Конструкция прошла проверку при эксплуатации в составе водогрейной установки. Эффективность технического решения подтверждена стендовыми испытаниями на модели фильтра.

Ключевые слова: фильтр механический для очистки воды; теплоиспользующая установка; водогрейная установка; электрический котел;

устройство для измерения расхода воды; пластинчатый теплообменник; арматура; механическая водоочистка; блок фильтров механических; механические отложения; стендовые испытания; модель фильтра; mechanical filter for water treatment; heat-using installation; water-heating installation; electric boiler; device for measuring water flow; plate heat exchanger; fittings; mechanical water treatment; mechanical filter block; mechanical deposits; bench tests; filter model.

УДК 628.33

Разделы рубрикатора ГРНТИ 44.31.35

Механические характеристики униполярных электродвигателей в электроприводах деревообрабатывающих устройств

Алексева Е.А., Кебко В.Д., Соколова В.А., Кривоногова А.С.

Общие требования, предъявляемые к электроприводу

В общем случае к электроприводу предъявляются следующие требования.

1. Высокая производительность исполнительного механизма, которая обеспечивается получением нужных скоростей и моментов в рабочих режимах, а также ускорений при разгоне и торможении.
2. Хорошие пусковые и регулировочные характеристики.
3. Широкий диапазон регулирования скорости.
4. Стабильность рабочих характеристик.
5. Высокая точность позиционирования и слежения.
6. Высокая надёжность, исключая необходимость систематического повседневного технического обслуживания.
7. Энергосберегаемость.
8. Высокие удельные показатели, оцениваемые по развиваемому длительному моменту, отнесённому к массе двигателя M/m (Нм/кг).
9. Разумная стоимость.

К электродвигателям, работающим в схемах электроприводов лесодобывающей и деревообрабатывающей промышленности наряду с обычными требованиями предъявляется ряд специфических требований, вытекающих из особых условий их эксплуатации. К ним, в частности, относится требование иметь значительный пусковой момент, поскольку ряд механизмов и установок работают с большим начальным статическим моментом сопротивления, и требование повышенной защищённости от воздействия окружающей среды. Это связано с высокой запылённостью помещений с деревообрабатывающими станками и с высоким содержанием влаги и вредных примесей в воздушной среде сушильных отделений. Последние обстоятельства отрицательно сказываются на состоянии изоляции

обмоток электродвигателей, ускоряя её старение и сокращая время эксплуатации машины.

Наилучшим образом перечисленным требованиям удовлетворяют униполярные двигатели, имеющие повышенный пусковой момент, обусловленный большим током ротора и весьма высоким значением магнитной индукции в воздушном зазоре. Отсутствие обычных обмоток на роторе и на статоре машины устраняет проблему снижения качества изоляции от воздействия влаги, пыли и аэрозольных компонентов окружающей среды.

В научной литературе униполярным двигателям уделяется недостаточно внимания, поэтому целесообразно осветить некоторые вопросы, характеризующие их свойства.

Расчётная модель униполярного двигателя

Регулировочные, пусковые и тормозные свойства электрических двигателей, применяемых в электроприводах, наилучшим образом отражают их электромеханические (скоростные) и механические характеристики. Эти характеристики хорошо известны для всех традиционных двигателей постоянного и переменного тока. Вместе с тем в литературе по униполярным двигателям вопросы анализа их электромеханических свойств с помощью указанных характеристик практически не освещаются. В данной работе поставлена задача получить аналитические соотношения, выражающие функциональные зависимости $n = f(I)$ и $n = f(M)$ для униполярных двигателей, являющиеся уравнениями механической и электромеханической характеристик.

Существует много разновидностей униполярных машин [1]. Отличаясь конструктивно, все они имеют один принцип действия. Поэтому для решения поставленной задачи можно выбрать какой-либо из образцов, распространив полученные результаты на униполярные двигатели в целом. В настоящей работе взят образец, предлагаемый автором. Основным элементом статора является постоянный магнит специальной формы (рис.1): его северный полюс 1 (N) представляет собой цилиндр, внутри которого размещён южный полюс 2 (S) в виде цилиндрического стержня. Ротор 3 выполнен в виде полого медного или алюминиевого цилиндра, охватывающего южный полюс статора и жёстко связанного с валом 4. Вал проходит через подшипниковый узел 5, закреплённый в немагнитном фланце 6. Перечисленные элементы двигателя размещены в силуминовом корпусе 7. К ротору с двух сторон через скользящие контакты 8 подводится напряжение питающей сети U , под действием которого по ротору протекает ток I . Магнитные линии, направленные радиально от северного полюса к южному, пронизывают поверхность ротора. В результате взаимодействия тока ротора с магнитным полем статора возникают

электромагнитные силы, направление которых может быть определено по правилу левой руки.

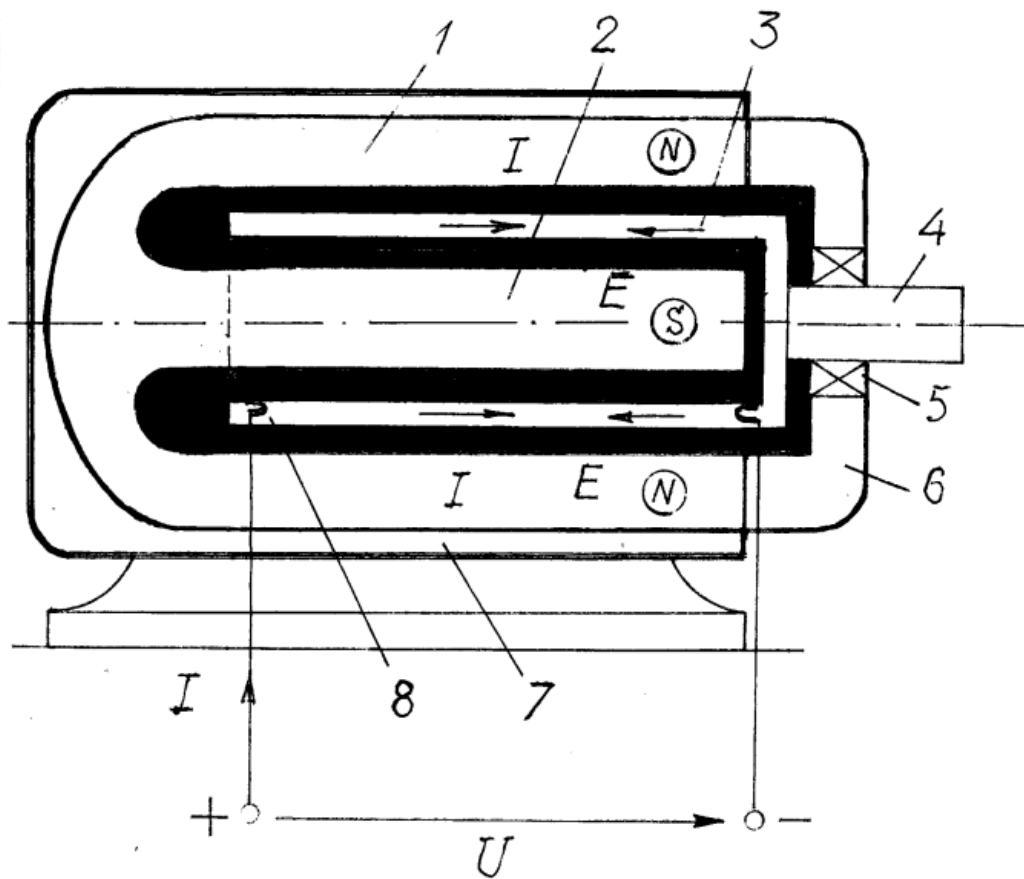


Рис. 1. Магнит

Скоростная и механическая характеристики униполярного двигателя

Рассмотрим ротор двигателя. Разделим его торцевое кольцо на элементарные участки длиной dx и толщиной h (рис. 2).

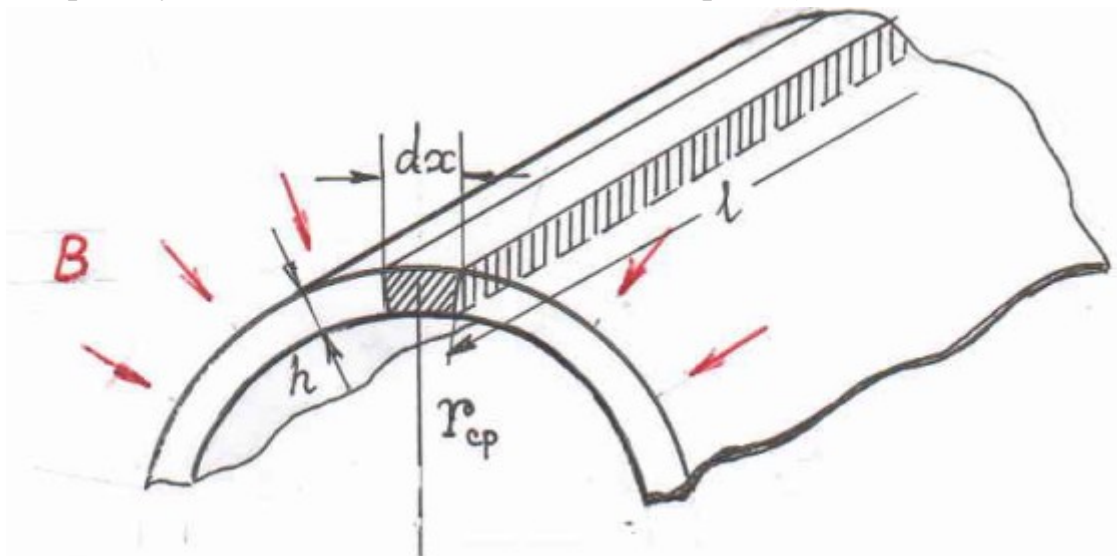


Рис. 2. Торцевое кольцо

Произведение hdx является площадью сечения элементарного проводника длиной l . Под действием подведенного напряжения по нему протекает ток dI . В пределах допустимой погрешности можно считать, что линии магнитной индукции во всех точках поверхности ротора перпендикулярны этой поверхности, а величина магнитной индукции всюду одинакова: $B = \text{const}$.

В этом случае электромагнитные силы $df = B dI l$, приложенные к элементарным проводникам, будут перпендикулярны среднему радиусу ротора r_{cp} , в результате чего возникают вращающие моменты $dM = df r_{\text{cp}}$, сумма которых равна результирующему вращающему моменту двигателя M .

При вращении ротора элементарные проводники пересекают линии неподвижного магнитного поля, в силу чего в них наводится ЭДС индукции E , направленная против тока (см.рис.1). Уравнение равновесия для контура с током имеет вид:

$$U = E + dR dI.$$

Здесь dR – сопротивление элементарного проводника, которое определяется по известной формуле: $dR = \rho \frac{l}{hdx}$. Выразив ток из уравнения равновесия, получим:

$$dI = \frac{U - E}{dR} = \frac{(U - E)hdx}{\rho l}.$$

Весь ток I , протекающий по цилиндрическому ротору можно получить, проинтегрировав последнее уравнение:

$$I = \frac{(U - E)h}{\rho l} \int_L dx = \frac{(U - E)h2\pi r_{\text{cp}}}{\rho l} \quad \text{или} \quad I = \frac{Uh2\pi r_{\text{cp}}}{\rho l} - \frac{Eh2\pi r_{\text{cp}}}{\rho l}.$$

Вращательное движение элементарных проводников ротора эквивалентно поступательному, поскольку в том и другом случае взаимная ориентация векторов магнитной индукции и линейной скорости в любой момент времени одинакова. В силу этого ЭДС, индуцируемую в роторе униполярного двигателя, можно вычислить по обычной формуле, выражающей закон электромагнитной индукции и относящейся к поступательному движению прямолинейного провода в равномерном магнитном поле:

$$E = B l v.$$

Выражая линейную скорость v через угловую ω , получим:

$$E = B l \omega r_{\text{cp}}.$$

Подставив это значение в соотношение для тока, приведенное выше, находим:

$$I = \frac{Uh2\pi r_{cp}}{\rho l} - \frac{Bl\omega r_{cp} h2\pi r_{cp}}{\rho l}.$$

Перепишем это соотношение, считая угловую скорость функцией тока:

$$\omega = \frac{\rho l U h 2 \pi r_{cp}}{\rho l B l r_{cp} h 2 \pi r_{cp}} - \frac{\rho l}{B l r_{cp} h 2 \pi r_{cp}} I.$$

После сокращения одинаковых величин в числителе и знаменателе получим:

$$\omega = \frac{U}{B l r_{cp}} - \frac{\rho}{B r_{cp} h 2 \pi r_{cp}} I.$$

Учитывая, что магнитная индукция

$$B = \frac{\Phi}{s} = \frac{\Phi}{2\pi r_{cp} l},$$

где $s = 2\pi r_{cp} l$ – площадь поверхности ротора, можно последнее выражение записать в следующем виде:

$$\omega = \frac{2\pi U}{\Phi} - \frac{\rho l}{\Phi r_{cp} h} I.$$

Домножив числитель и знаменатель второго слагаемого на 2π , получим в знаменателе площадь сечения цилиндрического проводника: $s = 2\pi r_{cp} h$.

Учитывая, что $\frac{\rho l}{2\pi r_{cp} h} = R$ является электрическим сопротивлением цилиндра (ротора), электромеханическую характеристику можно представить следующим соотношением:

$$\omega = \frac{2\pi U}{\Phi} - \frac{2\pi R}{\Phi} I. \quad (1)$$

Если угловую частоту выразить в оборотах в минуту $\omega = \frac{\pi n}{30}$, получим:

$$n = \frac{60U}{\Phi} - \frac{60R}{\Phi} I. \quad (2)$$

Как видно, полученные соотношения (1) и (2) выражают зависимости $\omega = f(I)$ и $n = f(I)$, т.е. являются уравнениями электромеханической характеристики униполярного двигателя.

Переходя к выводу уравнений механической характеристики, сделаем ряд предварительных замечаний. Выше было отмечено, что на элементарные проводники ротора действуют вращающие моменты $dM = df r_{cp}$, сумма которых

представляет собой результирующий вращающий момент двигателя M . Можно подобрать два таких диаметрально противоположных проводника, чтобы действующий на них момент был равен результирующему. Для этого по проводникам должны протекать токи, сумма которых равна общему току цилиндрического ротора, т.е. ток первого проводника $I_1 = I / 2$, ток второго проводника $I_2 = I / 2$. Расчётная схема такого эквивалентного ротора представлена на рис. 3.

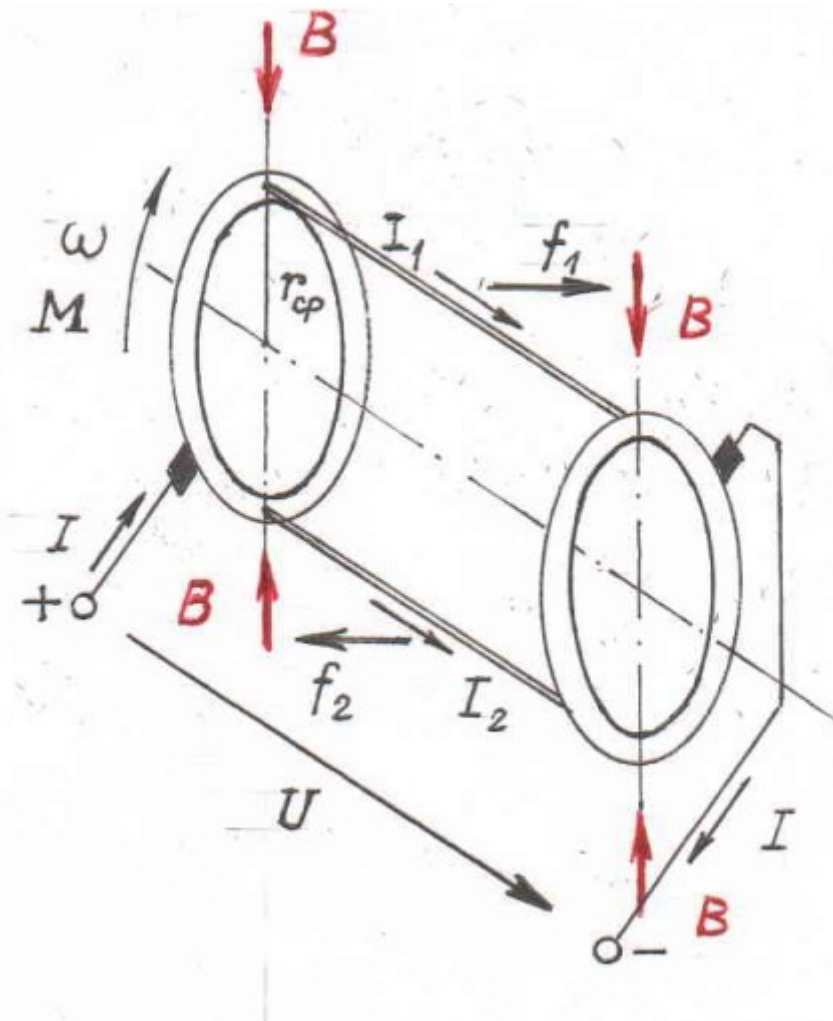


Рис. 3. Расчётная схема эквивалентного ротора

Для вычисления сил $f_1 = f_2$, действующих на проводники с током, можно воспользоваться формулой $f = BI$, предназначенной для прямолинейного провода длиной l , расположенного в равномерном магнитном поле с индукцией B . Выше было показано, что радиальное поле статора по отношению к проводникам ротора является равномерным. Направление сил определяется правилом левой руки. Момент, создаваемый парой сил,

$$M = (f_1 + f_2) r_{cp} = 2f r_{cp}.$$

Учитывая, что каждая сила обусловлена половиной суммарного тока, получим:

$$M = 2B \frac{I}{2} l r_{\text{cp}} = B I l r_{\text{cp}}.$$

Подставим сюда значение тока, полученное выше:

$$I = \frac{U h 2\pi r_{\text{cp}}}{\rho l} - \frac{B l \omega r_{\text{cp}} h 2\pi r_{\text{cp}}}{\rho l},$$

предварительно упростив его с учётом соотношения

$$\frac{\rho l}{2\pi r_{\text{cp}} h} = R$$

$$I = \frac{U}{R} - \frac{B l \omega r_{\text{cp}}}{R}.$$

После подстановки получим:

$$M = \frac{B U l r_{\text{cp}}}{R} - \frac{B^2 l^2 r_{\text{cp}}^2}{R} \omega.$$

Преобразуем это выражение, заменив магнитную индукцию магнитным

ПОТОКОМ $B = \frac{\Phi}{s} = \frac{\Phi}{2\pi r_{\text{cp}} l}$:

$$M = \frac{\Phi U}{2\pi R} - \frac{\Phi^2}{(2\pi)^2 R} \omega.$$

Разрешив последнее соотношение относительно угловой скорости, получаем уравнение механической характеристики униполярного двигателя:

$$\omega = \frac{2\pi U}{\Phi} - \frac{(2\pi)^2 R}{\Phi^2} M. \quad (3)$$

Если частота вращения двигателя выражается через обороты в минуту, уравнение механической характеристики будет иметь вид:

$$n = \frac{60 U}{\Phi} - \frac{2\pi 60 R}{\Phi^2} M. \quad (4)$$

Напомним, что уравнение механической характеристики двигателя параллельного возбуждения имеет вид:

$$n = \frac{U}{c_e \Phi} - \frac{R_{\text{я}}}{c_e c_m \Phi^2} M.$$

Подставим в него значения конструктивных коэффициентов:

$$c_e = \frac{pN}{60a}, \quad c_m = \frac{pN}{2\pi a}$$

(в этих соотношениях $2p$ – число пар полюсов, $2a$ – число параллельных ветвей, N – число активных проводов обмотки якоря). После подстановки имеем:

$$n = \frac{a}{pN} \frac{60U}{\Phi} - \left(\frac{a}{pN} \right)^2 \frac{2\pi 60 R_{\text{я}}}{\Phi^2} M.$$

Обозначив $\frac{pN}{a} = k$, окончательно получаем:

$$n = \frac{1}{k} \frac{60U}{\Phi} - \left(\frac{1}{k}\right)^2 \frac{2\pi 60 R_a}{\Phi^2} M. \quad (5)$$

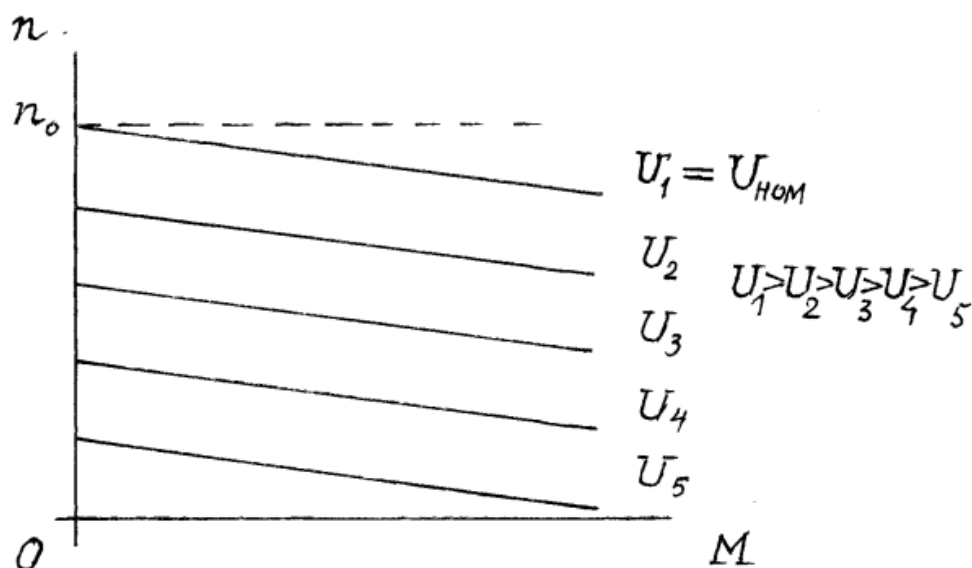


Рис. 4. Зависимость механической характеристики двигателя от магнитного потока

Сопоставляя (4) и (5), находим, что структура обоих выражений одинакова и соответствует уравнению прямой линии, начинающейся на вертикальной оси

($M = 0$) в точке $n = n_0 = \frac{60U}{\Phi}$ (соответственно $n = n_0 = \frac{U}{c_e \Phi}$) и имеющей наклон в сторону горизонтальной оси (рис.4).

Это свидетельствует о полной идентичности электромагнитных процессов, протекающих в обоих двигателях, и подтверждает суждение о том, что униполярный двигатель теоретически также является коллекторным с бесконечно большим количеством пластин [2].

Библиографический список

1. Суханов Л.А., Сафиуллина Р.К., Бобков Ю.А. Электрические униполярные машины. М: ВНИИЭМ, 1964.
2. Нейман Л.Р., Калантаров П.Л. Теоретические основы электротехники. Л: Энергоиздат, Ч. I, ГЭИ, 1959, с.89.

Сведения об авторах

ФИО	Алексеева Е.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	olgakameneva@gmail.com
ФИО	Кебко В.Д.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	olgakameneva@gmail.com
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com

Аннотация

В статье исследуются механические характеристики электродвигателей в электроприводах деревообрабатывающих устройств. Изучены вопросы электромагнитных процессов, протекающих в двигателях, дана расчётная модель униполярного двигателя.

Ключевые слова: электродвигатель, электропривод, деревообрабатывающая промышленность.

УДК 621.313.291

Разделы рубрикатора ГРНТИ 45.29.33

Анализ результатов исследования вопросов техники использования генераторных газов в энергетике

Иванова И.В., Ходорыч Н.Д., Иванов М.М.

Введение

Переработка в генераторный газ низкосортных, некондиционных древесных отходов и другой биомассы открывают целый ряд направлений для дальнейшего использования этого газообразного топлива, обладающего теплотехническими преимуществами горючих газов, находящихся в одном агрегатном состоянии с окислителем.

К таким направлениям относится использование генераторного как технологического продукта или полупродукта, а также топлива для непосредственного сжигания в теплогенераторах технологического назначения. В таком случае отпадает необходимость применения промежуточных теплоносителей и в принципе возможен отказ от традиционных методов промышленной энергетики, теплотрасс и других дорогих и металлоемких элементов тепловых предприятий. Эти направления использования генераторных газов могут быть весьма перспективными, но требуют специального исследования и разработки целого круга принципиально новых технических и экономических проблем.

Другим направлением использования генераторных газов является их применение в качестве бытового газового топлива. Однако, развитие этого направления затруднено из-за сложностей с их легализацией как коммунально-бытового топлива. Исключение искусственных газов из документов, регламентирующих использование газового топлива непосредственно в быту, их высокая токсичность и ряд других свойств сильно осложняют решение этой проблемы.

Основным направлением использования генераторных газов за рубежом [1] является их применение в качестве топлива тепловых двигателей электростанций. Исходя из зарубежного опыта, достаточно трудно технически и экономически осуществимой операцией при этом остается очистка генераторного газа перед подачей его в тепловые двигатели.

Цели и задачи

Целью данной работы является рассмотреть возможность использования генераторного газа в теплоэнергетическом оборудовании лесной и деревообрабатывающей промышленности.

Методика исследования

Наиболее просто осуществимым на сегодняшний день направлением использования генераторных газов следует признать их сжигание котлами промышленных или промышленно-отопительных котельных тех предприятий, которые располагают большими и концентрированными количествами никак не используемой биомассы. К таким предприятиям, в первую очередь, относятся лесозаготовительные и деревообрабатывающие предприятия. При реализации этого направления также стоят вопросы в легализации генераторного газа как котельного топлива. Это требует также проработки систем газопередачи, отвечающей требованиям существующих Правил [2], разработки горелочных устройств и т.д. При решении всех этих вопросов необходимо в первую очередь определиться, выяснив какое же существующее котельное оборудование наиболее приемлемо для его перевода на генераторный газ.

Несмотря на все расширяющееся применение в лесозаготовке и деревообработке высокотемпературных органических теплоносителей (ВОТ) и организацию серийного производства теплогенераторов ВОТ, основными массовыми теплоносителями на сегодняшний день и на перспективу в этой отрасли остаются водяной пар и вода. В ряде случаев эти теплоносители конкурентоспособны. Теплотехнические свойства этих теплоносителей и определяют, в конечном счете, преимущества и недостатки их применения в конкретных системах теплоснабжения. Большим преимуществом конденсирующегося водяного пара является его способность обеспечить строго определенную температуру в любой точке, обогреваемой им поверхности. Эта особенность пара делает его незаменимым в теплообменниках технологического назначения, где необходимость постоянства температуры по длине обогреваемого элемента вытекает из требований технологии. В то же время замена парового отопления на водяное технико-экономически оправдано, т.к. в этом случае постоянства температуры поверхности греющего элемента не требуется. Наличие конденсатоотводчиков, потери, связанные с пролетным паром, и ряд других недостатков паровых систем привел к тому, что системы водяного отопления почти повсеместно вытеснили паровое. В ряде случаев и технологические процессы деревообработки допускают применение водяного обогрева. Таким образом, основными видами обогрева в деревообработке были и остаются как паровой, так и водяной обогрев.

В промышленных масштабах, при доле паровой нагрузки, значительно превышающей долю нагрузки в горячей воде, используются паровые

промышленные или промышленно-отопительные котельные. При соизмеримой с паровой или преобладающей нагрузке в горячей воде рекомендуются паро- и водогрейные котельные, т.к. при этом несмотря на усложнение тепловой схемы, преобладающими являются экономические и технические преимущества водогрейных котлоагрегатов. При отсутствии потребителей, нуждающихся в паре, как в отопительных, так и в промышленно-отопительных котельных, выгоднее всего устанавливать водогрейные котлы [3].

Существенные коррективы в выбор котельного оборудования лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий вносит наличие на них древесных отходов. В частности, большим препятствием на пути использования весьма выгодных в ряде случаев водогрейных котлов является отсутствие серийного выпуска в нашей стране таких котлов, рассчитанных на сжигание древесных отходов при их механизированной подаче. Исходя из характерных тепловых нагрузок, а также необходимости резервирования теплогенерирующего оборудования, деревообрабатывающие предприятия чаще всего нуждаются в котлах с паропроизводительностью до 30 т/ч и водогрейных котлах с теплопроизводительностью до 10 МВт. Водогрейных котлов такой, да и большой мощности, рассчитанных на древесные отходы российское котлостроение практически на сегодняшний день, не освоило. В развитых зарубежных странах водогрейные котлы, специально рассчитанные на древесные отходы их механизированной подаче, выпускаются и широко используются. В качестве примера можно привести финские водогрейные котлы фирмы «Раума Репола» мощностью 4 МВт и «План-Селл», «Китен Саха» мощностью 10 МВт [1].

Новые условия хозяйственной деятельности котлостроительных предприятий и ограниченная количественная потребность отрасли в таких котлах не гарантируют их появление на рынке в ближайшее время. Указанное и приводит к тому, что в большинстве случаев на деревообрабатывающих предприятиях отрасли, несмотря на целый ряд преимуществ водогрейных котлов, устанавливаются паровые, рассчитанные на работу на древесных отходах. Это не может не наносить ущерба технико-экономическим показателям малой энергетики деревообрабатывающих предприятий.

Из паровых котлов малой производительности широко известны котлы типа ДКВр с топками для сжигания древесных отходов ЦКТИ системы В.В. Померанцева производительностью 2,5; 4; 6; 10 и 20 т/ч на абсолютное давление 1,4; 2,4; 4,0 МПа. В настоящее время Бийским котельным заводом (БиКЗ) выпускаются котлы с теми же параметрами, но слоевыми топками для сжигания каменных углей типа КЕ и газомазутные котлы типа ДЕ [4].

Особо следует отметить появление серии паровых котлов малой производительности, рассчитанных на совместное сжигание влажных древесных отходов и другого топлива [4]. Эти котлы также выпускает БиКЗ. В частности, котлы КЕ-6,5-14МТ производительностью 6,5 т/ч рассчитаны на сжигание древесных отходов с относительной влажностью до 60% и размерами кусков не более 100 мм, имеющим $Q_n^P = 36\,000$ кДж/нм³ или мазутами марки М-40 или М-100. Для сжигания отходов на фронтальной части котла установлена топка скоростного горения улучшенной конструкции. Для подсветки газом или мазутом на задней стенке топки установлены горелки типа ГМГ-2. КПД брутто котла при совместном сжигании двух топлив составляют 82...86% [4].

Котлы КЕ-10-14МТ имеют паропроизводительность 10 т/ч. Остальные технические данные аналогичны. Котлы КЕ-25-14МТД производительностью 25 т/ч оборудованы топками скоростного горения, монтируемыми на боковых стенках топки. Для подсветки древесных отходов используются каменные угли, сжигаемые на подвижной колосниковой решетке БЦР. Котлы КЕ-25-14МТД-ГМ аналогичны котлам КЕ-25-14МТД, но в них дополнительно устанавливаются газомазутные горелки, подсвечивающие древесные отходы. По существу, котлы КЕ-6,5-14МТ, КЕ-10-14МТ, КЕ-25-14МТД и КЕ-25-14МТД-ГМ в настоящее время следует рассматривать как единственно, серийно выпускаемые, базовые, современные отечественные котлы для котельных лесных и деревообрабатывающих предприятий, обеспечивающие энергетическую утилизацию высоковлажных некондиционных древесных отходов при их механизированной подаче [4].

Именно эти котлы и устанавливаются в котельных, включая случаи, даже когда использование водогрейных котлов предпочтительнее. Практически все выпускаемые в нашей стране водогрейные котлы необходимой теплопроизводительности рассчитаны только на сжигание природного газа или жидкого топлива. Переделки этих котлов непосредственно на предприятии для сжигания древесных отходов всегда приводят к резкому ухудшению теплотехнических характеристик.

Естественно, что минимальных переделок при переводе его на генераторный газ потребует котельный агрегат, рассчитанный на сжигание газообразного топлива. Таким образом, внедрение генераторного газа в лесную и деревообрабатывающую промышленность во многие десятки раз расширит парк во многие десятки раз расширит парк паровых, а главное, водогрейных котлов, которые можно будет устанавливать в котельных предприятиях. В число пригодных для использования котельных агрегатов войдут все

типоразмеры паровых котлов ДЕ и многочисленные типоразмеры водогрейных котлоагрегатов с диапазоном теплопроизводительностей до 2 МВт. Широкое применение водогрейных котлов должно обеспечить улучшение теплоиспользования в отрасли и некоторое сокращение парка, подчас вынужденно устанавливаемых на предприятиях паровых котельных агрегатов.

Что касается упомянутых выше котлов типа КЕ, рассчитанных на сжигание высоковлажных древесных отходов с подсветкой мазутом или природным газом, то их перевод на генераторный газ, очевидно, потребует минимальных переделок. Кроме замены в них горелочных устройств, в этом случае, рядом с котельной необходимо будет установить небольшой газогенератор, обеспечивающий подсветку отходов генераторным газом. В случае установки двух таких небольших газогенераторов один из них будет резервировать другой и от такого дефицитного резервного топлива как мазут, вообще можно отказаться. Это, кроме того, позволит предельно упростить горелочное устройство, используя его только как газовое и исключив необходимость его усложнения для использования как газомазутное.

Естественно, что широкое использование генераторного газа как котельного топлива потребует его легализации. Решение этой проблемы представляется значительно более реальной, чем легализация генераторных газов в качестве коммунально-бытового топлива. Основанием для такого прогноза является наличие прецедентов использования доменного, коксового и ряда попутных токсичных газов в качестве промышленного топлива в металлургической и химической промышленности. Легализация генераторных газов потребует разработки, согласования и утверждения технических условий на энергетическое использование этих газов. Утверждение таких условий возможно только при наличии заинтересованности использовать генераторный газ. Перевод любого котла на генераторный газ потребует его перерасчета на это топливо и согласования с заводом-изготовителем.

Проработка вопросов технического решения системы газопередачи, осушения и одоризации генераторных газов [2] показывает, что эти задачи решаются в основном на базе серийно выпускаемой аппаратуры или ее узлов.

Тепловая мощность горелки и возможность взаимозаменяемости газовых горелок оценивается числом Воббе

$$W_o = \frac{Q_n^p}{\sqrt{\rho_{отн}}}, \quad (1)$$

где Q_n^p – низшая теплота сгорания газа, кДж/нм³; $\rho_{отн}$ – относительная (по воздуху) плотность газа, кг/м³.

Учитывая, что для доменного газа $\rho_{\text{отн}} = 1$, а для генераторного $\rho_{\text{отн}} = 0,89$, а теплоты сгорания весьма близки, можно полагать, что генераторный газ можно сжигать в горелочных устройствах, рассчитанных на доменный газ без их серьезной переделки.

Известно также, что в некоторых случаях, даже при неравенстве чисел Воббе, удастся достигнуть взаимозаменяемости в горелках двух горючих разов за счет изменения давления газа перед горелкой. При этом используется так называемое расширенное число Воббе. Условие взаимозаменяемости газогорелочных устройств, при этом определяется следующим равенством

$$W_{\text{о р}} = \frac{Q_{\text{н1}}^{\text{р}} \sqrt{p_1}}{\sqrt{\rho_1}} = \frac{Q_{\text{н2}}^{\text{р}} \sqrt{p_2}}{\sqrt{\rho_2}}, \quad (2)$$

где $Q_{\text{н1}}^{\text{р}}$ и $Q_{\text{н2}}^{\text{р}}$ – низшие теплоты сгорания заменяемого и заменяющего газов. кДж/нм³; p_1, ρ_1, p_2, ρ_2 – соответственно давления перед горелкой (Па) и относительная плотность заменяемого и заменяющего газов (кг/м³).

Таким образом, для генераторных газов очевидно во многих случаях могут быть применены газогорелочные устройства, рассчитанные на другие низкокалорийные газы. Из многих типов серийно выпускаемых газогорелочных устройств для низкокалорийных газов наиболее перспективными для генераторных газов представляются следующие:

1. Горелки с принудительной подачей воздуха без предварительного рвения.
2. Горелка типа «труба в трубе».
3. Горелки с улучшенным смешением, что важно для получения более короткого и высокотемпературного факела.
4. Турбулентные горелки.
5. Плоскопламенные горелки.
6. Инжекционные горелки как наиболее распространенные горелки с полным предварительным смешением.
7. Подовые горелки, как хорошо зарекомендовавшие себя в чугунных секционных водогрейных котлах.

Отметим, что опыт контактного нагрева дымовыми газами в лесной и деревообрабатывающей промышленности, располагающих уникальными, не содержащим серы топливом, в прошлом уже имелся [1]. Получение генераторного газа открывает широкие возможности применения этого принципа в современном техническом оформлении.

Результаты и обсуждение исследований

На основании результатов проведенных исследований выявлена актуальность рассмотренных проблем использования генераторного газа для водогрейных и паровых котлов. Рекомендуется оценить перспективы

применения теплоносителей и котельного оборудования в лесозаготовительной и деревообрабатывающей промышленности; произвести анализ путей и технических средств использования генераторных газов в бытовых нагревательных приборах; проработать вопросы технологического применения генераторных газов и опыт уже выполненных переводов, касающиеся опыта использования генераторных газов как котельного топлива и энергоносителя, в нашей стране и за рубежом.

Заключение и выводы

Использование генераторного газа в качестве топлива для водогрейных и паровых котлов представляется весьма перспективным и требует дальнейших исследований и проработок технических решений.

Библиографический список

1. *Алешина, А.С., Сергеев, В.В.* Газификация твердого топлива: учеб. пособие / А.С. Алешина, В.В. Сергеев – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2010. – 202 с.
2. СНиП 42-01-2002. Газораспределительные системы. М.: Министерство регионального развития Российской Федерации, 2002.
3. *Букин, В.Д.* Создание водогрейных котлов с топками для сжигания древесных отходов // В.Д. Букин и др. – Л.: Труды ЦКТИ, 1989. – с. 51-56.
4. *Букин, В.Д.* Освоение серии паровых котлов с топками для сжигания древесных отходов // В.Д. Букин и др. – Л.: Труды ЦКТИ, 1989. – с. 57-67.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Ходорыч Н.Д.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3253-9032
e-mail	nikhodor90@gmail.com
ФИО	Иванов М.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3904-1560
e-mail	kafteplotex@yandex.ru

Аннотация

Проведен анализ внедрения генераторного газа в лесную и деревообрабатывающую промышленность. Легализация генераторных газов потребует разработки, согласования и утверждения технических условий на энергетическое использование этих газов. Определено, что для генераторных газов во многих случаях могут быть применены газогорелочные устройства, рассчитанные на другие низкокалорийные газы. Использование генераторного газа в качестве топлива для водогрейных и паровых котлов представляется весьма перспективным и требует дальнейших изучений и проработок технических решений.

Ключевые слова: древесные отходы; генераторный газ; газораспределительные системы; грелка; теплоноситель; wood waste; generator gas; gas distribution systems; heating pad; heat carrier.

УДК 662.761.1

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 61.53.19

Обоснование перевода двигателей внутреннего сгорания на генераторный газ

Иванова И.В., Тюляков В.Е., Иванов М.М.

Введение

В районах, удаленных от энергетических систем, удаленных от разветвленных транспортных сетей, вопросы получения тепловой и электрической энергии вызывают определенные затруднения.

Строительство паровых турбинных электроустановок требует значительных капитальных затрат и не всегда возможно из-за отсутствия поблизости водоемов с достаточным запасом воды. Поэтому в большинстве случаев для выработки электроэнергии используют электростанции с двигателями внутреннего сгорания. Однако, и в этом случае возникают трудности с доставкой жидкого к месту потребления. Это географические, местные и т.п. причины. Это объясняет настойчивые попытки предприятий изыскать «местные» способы получения тепловой и электрической энергии, вырабатываемых за счет местных видов топлива, за счет нетрадиционных видов энергии.

Цели и задачи

Целью работы является рассмотрение путей использования генераторного газа в энергетике, в частности, в двигателях внутреннего сгорания, для тепловых двигателей электростанций и определение размеров газогенератора, который способен обеспечить газом двигатель мощностью 110 кВт.

Методика исследования

Одним из таких направлений является выработка электрической энергии на электростанциях с ДВС, работающих на генераторном газе, получаемом при газификации биомассы и, в частности, древесных отходов. Это направление получило достаточно широкое распространение фактически во всех зарубежных странах: Германия, Франция, Англия, Япония, США и т.д. [1]. Если у паротурбинной установки при полной нагрузке общий коэффициент полезного действия составляет 22%, то в электроустановках с ДВС, работающих на генераторном газе, общий КПД достигает 31%. Следует при этом учитывать, что для получения генераторного газа используются низкосортные отходы, которые не могут быть, в силу своих качеств, использованы в технологических процессах основного производства.

На электростанциях такого типа используются двигатели или с принудительным зажиганием рабочей смеси или с воспламенением ее от сжатия. В последнем варианте, в целях устойчивой работы двигателя, в качестве воспламенителя используют жидкое топливо. Расход топлива-воспламенителя при этом составляет 6...7% от общего расхода топлива при работе двигателя в режиме дизеля. Расход жидкого топлива на воспламенение рабочей смеси генераторного газа с воздухом при изменении нагрузки на двигатель не меняется.

Использование части жидкого топлива для воспламенения горючей смеси обусловлено достаточно высоким октановым числом ее. Если у бензиновых двигателей октановое число составляет 95...100, октановое число генераторного газа составляет 110...125. Из приведенных данных следует, что обеспечить самовоспламенение смеси генераторного газа с воздухом при сжатии практически невозможно [2].

Но чтобы использовать жидкое топливо как воспламенитель на двигателях такого типа, необходимо сохранять весь комплект топливной аппаратуры. Следует отметить, что это дает и определенные преимущества. В случае неполадок в системе газогенераторной установки двигатель достаточно быстро может быть переведен в режим дизеля.

Генераторный газ, получаемый воздушным способом, имеет низкую теплоту сгорания ($4500...5000 \text{ кДж/нм}^3$) по сравнению с теплотой сгорания традиционных видов топлива. Использование генераторного газа в двигателях приводит к снижению их мощности на 20...30%. В значительной степени потеря мощности может быть компенсирована использованием турбонаддува компонентов рабочей смеси, воздуха и газа. При этом возможны два варианта: турбонаддув осуществляется одним турбокомпрессором, который повышает давление наддува готовой рабочей смеси газа и воздуха, или наддув

осуществляется отдельно двумя турбокомпрессорами по воздуху и газу. Практикой отмечено, что использование наддува позволяет исключить потери мощности на двигателе, а в отдельных случаях увеличить ее выше номинальной [2].

Рассмотрим основные принципы в определении геометрических размеров газогенераторной установки, например, для двигателя внутреннего сгорания мощностью 110 кВт. Это двигатели 1Д6, 3Д6, 6Д6.

В основу расчета газогенератора положена методика, разработанная В.М. Черномордиком [3]. Согласно этой методике, исходя из опытных данных, задаем состав генераторного газа. Опыт испытаний газогенераторов [1] показывает, что из древесных отходов можно получить газ следующего состава:

$\text{CO} = 26\%$; $\text{H}_2 = 14\%$; $\text{CO}_2 = 8\%$, $\text{N}_2 = 49\%$; $\text{CH}_4 = 2\%$; $\text{O}_2 = 1\%$.

Состав горючей массы древесных отходов, взятый из технической литературы [2], определяется следующими элементами: $\text{C}^{\Gamma} = 49,3\%$; $\text{H}^{\Gamma} = 6,1\%$; $\text{O}^{\Gamma} = 43,6\%$; $\text{N}^{\Gamma} = 1,0\%$.

Приведенный выше состав сухого генераторного газа характеризуется следующим содержанием горючих компонентов:

$$\lambda = \text{CO} + \text{H}_2 + \text{CH}_4 = 26 + 14 + 2 = 42\%. \quad (1)$$

Низшая теплота сгорания генераторного газа

$$Q_{\text{H}}^{\Gamma,\Gamma} = 126 \text{ CO} + 108 \text{ H}_2 + 358 \text{ CH}_4 = 5504 \text{ кДж/нм}^3. \quad (2)$$

Определим массу 100 кг молей генераторного газа (по предлагаемой методике [3] для удобства расчеты ведутся на 100 кг молей газа)

$$\mu^{\Gamma,\Gamma} = 28 \text{ CO} + 44 \text{ CO}_2 + 32 \text{ O}_2 + 2 \text{ H}_2 + 16 \text{ CH}_4 + 28 \text{ N}_2, \text{ кг/моль}. \quad (3)$$

$$\mu^{\Gamma,\Gamma} = 28 \cdot 26 + 44 \cdot 8 + 32 \cdot 1 + 2 \cdot 14 + 16 \cdot 2 + 28 \cdot 49 = 2544 \text{ кг/моль}.$$

Плотность генераторного газа

$$\rho^{\Gamma,\Gamma} = \frac{\mu^{\Gamma,\Gamma}}{2240} = \frac{2544}{2240} = 1,14 \text{ кг/нм}^3.$$

Располагая объемным содержанием компонентов газа, определим его элементарный состав. В газе содержится: углерода $\text{C}^{\Gamma,\Gamma} = 36 \text{ кг/моль}$; $\text{H}^{\Gamma,\Gamma} = 18 \text{ кг/моль}$; $\text{O}^{\Gamma,\Gamma} = 32 \text{ кг/моль}$; $\text{N}^{\Gamma,\Gamma} = 49 \text{ кг/моль}$.

Определим коэффициент полноты сгорания топлива

$$\varepsilon = 0,98 - \frac{A \cdot Z}{C (100 - B)} \quad (4)$$

где Z – коэффициент, учитывающий количество углерода, содержащееся в 1 кг золы. Для древесины $Z = 0,2$; A – зольность топлива; B – балласт топлива,

$B = A + W$. Для предполагаемой схемы генераторной установки можно взять $A = 1,8\%$; $W = 30\%$; C – содержание углерода в горючей массе топлива.

Тогда,

$$\varepsilon = 0,98 - \frac{1,8 \cdot 0,2}{0,493 \cdot (100 - 31,8)} = 0,969.$$

Определим количество углерода топлива, затраченное на получение 100 кг молей сухого генераторного газа

$$C_m = \frac{C^{г.г}}{\varepsilon} = \frac{36}{0,969} = 37,15 \text{ кг/моль.}$$

Определим горючую массу топлива

$$G^г = \frac{C_m}{C} \cdot 12 = \frac{37,15}{0,493} \cdot 12 = 904,3 \text{ кг.}$$

Масса рабочего топлива составит

$$G^р = \frac{G^г \cdot 100}{100 - (A + W)} = \frac{904,3 \cdot 100}{100 - (1,8 + 30)} = 1325,9 \text{ кг.}$$

Определим расход H_2 , O_2 , N_2 составляющих горючую топлива, израсходованного на получение 100 кг молей газа

$$H_2 = \frac{G^г \cdot \varphi}{2} = \frac{904,3 \cdot 0,062}{2} = 28 \text{ кг/моль;}$$

$$O_2 = \frac{G^г \cdot l}{32} = \frac{904,3 \cdot 0,435}{32} = 12,3 \text{ кг/моль;}$$

$$N_2 = \frac{G^г \cdot n}{28} = \frac{904,3 \cdot 0,011}{28} = 0,355 \text{ кг/моль.}$$

Располагая полученными результатами, определим выход сухого газа из одного кг рабочего топлива

$$g^{г.г} = \frac{22,4 \cdot 100}{G^р} = \frac{22,4 \cdot 100}{1325,9} = 1,7 \text{ нм}^3/\text{кг.}$$

Расход воздуха на газификацию $G^р$ кг топлива

$$L_{100} = \frac{N_o - N_г}{0,79} = \frac{49 - 0,355}{0,79} = 61,57 \text{ кг/моль}$$

Масса воздуха

$$M^в = 61,57 \cdot 28,95 = 1782,5 \text{ кг.}$$

Расход воздуха на газификацию одного кг топлива составит

$$M_{1\text{кг}}^в = \frac{M^в}{G^р} = \frac{1782,5}{1325,9} = 1,34 \text{ кг воздуха/кг топлива.}$$

или в нм^3

$$V_{\text{1кк}}^{\text{B}} = M_{\text{1кк}}^{\text{B}} \cdot \rho = 1,34 \cdot 1,293 = 1,73 \text{ нм}^3.$$

Масса очаговых остатков

$$G_{\text{оч}} = \frac{A \cdot G^{\text{P}}}{100} (1 + C) = \frac{1,8}{100} \cdot 1325,9 \cdot (1 + 0,2) = 28,6 \text{ кг.}$$

Определим содержание влаги в генераторном газе

$$G_{\text{H}_2\text{O}}^{\text{Г}} = \frac{W}{100} G^{\text{P}} = \frac{30}{100} \cdot 1325,9 = 397,8 \text{ кг}$$

или

$$G_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{W}{1800} G^{\text{P}} = \frac{30}{1800} \cdot 1325,9 = 22,1 \text{ кг.}$$

Общее содержание воды в генераторном газе

$$\text{H}_2\text{O} = G_{\text{H}_2\text{O}} - \text{H}_o + \text{H}_m = 22,1 - 18 + 28 = 32,1 \text{ кг/моль}$$

или

$\text{H}_2\text{O}^{\text{Г}} = 32,1 \cdot 18 = 577,8 \text{ кг}$, что составляет на один кг генераторного газа

$$G = 0,8 \cdot \frac{\text{H}_2\text{O}}{100 + \text{H}_2\text{O}} = 0,8 \cdot \frac{32,1}{132,1} = 0,19 \text{ кг/нм}^3.$$

Правильность проведенных расчетов проверим составлением материального баланса на 100 кг моль газа, табл. 1.

Таблица 1

Материальный баланс на 100 кг моль газа

Приход			Расход	
Масса топлива	рабочего	1325,9 кг	Масса генераторного газа	сухого 2544,0 кг
Масса сухого воздуха		1782,6 кг	Масса влаги газа	397,8 кг
			Масса очаговых остатков	28,6 кг
Итого:		3108,5 кг	Итого:	2970,4 кг

Невязка баланса:

$$\Delta = \frac{3108,5 - 2970,4}{3108,5} = 0,044 (4,4\%).$$

Полученная точность в расчетах достаточна для определения геометрических размеров сечения газогенератора и трубопроводов.

Определим расход газа и древесных отходов, необходимых для работы двигателя при номинальной нагрузке. Для этого приведем характеристику двигателя ЗД6: $N_H = 110$ кВт (150 л.с); $n = 1500$ мин⁻¹; $D_{ц} = 150$ мм; $S = 180$ мм; $V = 19,1$ л; $\varepsilon = 15$; $i = 6$.

Количество горючей смеси при наддуве $p_H \leq 0,14$ МПа, отнесенное к нормальным условиям [3]:

$$Q_{см} = 60 \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot S \cdot \frac{i \cdot n}{2} \cdot \frac{273}{T_H} \cdot \frac{p_H}{760} \cdot \eta_i \quad (5)$$

$$Q_{см} = 60 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,15^2}{4} \cdot 0,18 \cdot \frac{6 \cdot 1500}{2} \cdot \frac{273}{303} \cdot \frac{0,14 \cdot 10^6}{1,013 \cdot 10^5} \cdot 0,8 = 855,1 \text{ нм}^3/\text{час}$$

Теоретический расход воздуха для сжигания одного нм³ генераторного газа

$$L_o = \frac{1}{21} (0,5 \cdot (\text{CO} + \text{H}_2) + 2\text{CH}_4 - \text{O}_2) = \frac{1}{21} [0,5 \cdot (26 + 14) + 2 \cdot 2 - 1] = 1,09 \frac{\text{нм}^3 \text{воздуха}}{\text{нм}^3 \text{газа}}$$

Коэффициент объемного содержания паров воды в генераторном газе

$$\omega = \frac{p_s}{p - p_s} = \frac{0,0433}{0,02 + 0,0433} = 0,68.$$

Количество потребляемого двигателем генераторного газа

$$Q^{г.г} = \frac{Q_{см}}{1 + \alpha L_o \omega} = \frac{855,1}{1 + 1,2 \cdot 1,09 \cdot 0,68} = 453 \text{ нм}^3/\text{час}$$

Из материального баланса газогенератора следует, что из одного кг древесных отходов можно получить 1,7 нм³ газа с теплотой сгорания $Q_H^{г.г} = 5504$ кДж/нм³.

Следовательно, расход древесных отходов в час составит

$$M^{д.о} = \frac{Q_H^{г.г}}{g} = \frac{453}{1,7} = 266,5 \text{ кг/час.}$$

Результаты и обсуждение исследований

Сечение газогенератора, учитывая нижнюю подачу древесных отходов, необходимо сделать только прямоугольным. Известно, что в слоевых газогенераторах обратного горения в один час на одном м² сечения шахты на уровне фурм можно прогазифицировать 600...650 кг отходов/м². Размеры этого сечения, исходя и из конструктивных соображений, можно принять равными: ширина – 400 мм, длина – 1000 мм.

Заключение и выводы

Переработка древесных отходов и других видов биомассы в газообразное топливо позволит решить ряд вопросов с энергоснабжением предприятий

лесной и деревообрабатывающей промышленности, в частности перевод двигателей внутреннего сгорания с жидкого топлива на генераторный газ.

Библиографический список

1. Алешина, А.С., Сергеев, В.В. Газификация твердого топлива: учеб. пособие / А.С. Алешина, В.В. Сергеев – СПб.: Изд-во Политех. ун-та, 2010. – 202 с.
2. Лямин, В.А. Газификация древесины. / В.А. Лямин. – М.: Лесная пром-ть, 1967. – 262 с.
3. Черномордик, В.М. Теория и расчет транспортных газогенераторов / В.М. Черномордик. – М.: Машгиз, 1943. – 256 с.

Сведения об авторах

ФИО Иванова И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

ФИО Тюляков В.Е.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3942-6089
e-mail randyrkoorton2013@yandex.ru

ФИО Иванов М.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 3904-1560
e-mail kafteplotex@yandex.ru

Аннотация

Проведен анализ использования генераторного газа в качестве топлива для двигателей внутреннего сгорания, для тепловых двигателей электростанций. На основании базовой методики, определены размеры газогенератора, который способен обеспечить газом двигатель мощностью 110 кВт. Переработка древесных отходов и других видов биомассы в газообразное топливо позволит решить ряд вопросов с энергоснабжением предприятий лесной и

деревообрабатывающей промышленности, в частности перевод двигателей внутреннего сгорания с жидкого топлива на генераторный газ.

Ключевые слова: генераторный газ; газогенераторная установка; двигатель внутреннего сгорания; теплота сгорания; материальный баланс; generator gas; gas generator set; internal combustion engine; heat of combustion; material balance.

УДК 662.76

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 61.53.19

Обоснование целесообразности получения и использования генераторного газа из древесных и других горючих газов

Иванова И.В., Куликов А.А., Петров В.А.

Введение

Разработка технических мероприятий, улучшающих энергоснабжение различных отраслей народного хозяйства и бытового сектора, становится все более актуальной задачей в связи с иногда возникающими трудностями обеспечения некоторых регионов страны привозным твердым, жидким и газообразным ископаемым топливом.

Существенного улучшения регионального энергоснабжения можно добиться путем использования в качестве топлива и энергоносителя искусственного газообразного топлива, получаемого в простых технических устройствах (газогенераторах) в результате переработки местного топлива и различного вида древесных и других горючих отходов (кора, опилки, стружка, навоз и т.п.).

Цели и задачи

Целью работы является исследование методов получения искусственного газообразного топлива; использование преимуществ газообразного топлива для получения тепловой энергии с помощью газогенераторной установки; анализ работы опытно-промышленной установки для получения генераторного газа.

Методика исследования

Газообразное топливо является во многих отношениях более удобным для использования, чем твердое топливо (уголь, торф, древесина). Например, газообразное топливо можно передавать на большие расстояния по трубопроводам с меньшими затратами и без потерь; обладает большей тепловой эффективностью, чем твердое, что может быть использовано для энергетических целей (сжигание в топках) или для технологических операций (сушка, варка, выпаривание и т.д.); удобно использовать для отопления и горячего водоснабжения; технология сжигания газообразного топлива проще,

чем твердого, и легко поддается автоматизации; продукты сжигания меньше загрязняют поверхности нагрева и окружающую среду; может быть использовано в транспортных установках.

Газообразное топливо может быть получено в виде ископаемого естественного природного газа или в виде искусственного газа в результате переработки ископаемых твердых топлив (уголь, торф, сланец) или возобновляемых твердых топлив (растительность и отходы ее переработки).

В настоящее время применительно к условиям обеспечения газообразным топливом лесных регионов страны целесообразно получать искусственные газ путем термохимической переработки дровяного топлива, древесных и других горючих отходов, а также местного ископаемого топлива – торфа.

Интенсивная разработка и использование различных конструкций стационарных и транспортных газогенераторов на твердом топливе проводились у нас в стране в 40-60-х годах [1-5]. В частности профессора В.В. Померанцев, А.И. Киприанов, доцент В.А. Лямин и многие другие разработали различные конструкции газогенераторов для получения искусственного газа по прямому способу термохимической переработки древесного топлива, когда получаемый газ содержал в большом количестве продукты термического разложения древесины в виде паров различных смол и кислот [6]. Такой газ мог быть использован для получения некоторых химических продуктов и для энергетических целей. Необходимость очистки такого газа от коррозионно-активных паров кислот и смол существенно повышала стоимость газа, затрудняла его использование в теплоэнергетических установках и не привела к широкому внедрению стационарных газогенераторов, работающих по прямому процессу.

Для передвижных транспортных установок в это же примерно время ЦНИИМЭ и НАТИ были разработаны малогабаритные газогенераторы на специальном сухом древесном топливе, работавшие по принципу обращенного процесса термохимической переработки, когда воздух для горения древесины подавался в средней части газогенератора, а снизу отбирался свободный от смол и паров кислот чистый газ, который затем использовался в качестве топлива для сжигания в цилиндрах двигателей внутреннего сгорания транспортных установок без сложной дополнительной очистки [6]. Как известно, в годы войны и первые послевоенные годы был налажен массовый выпуск транспортных газогенераторов обращенного процесса на специальном сухом древесном топливе (чурке) и большое количество передвижных установок (автомобилей, тракторов, судов) работало на «дровах».

В силу ряда причин (открытие новых месторождений нефти и газа, дороговизна специального сухого древесного топлива, сложность

обслуживания транспортных газогенераторов и т.д.) в 60-х годах весь парк передвижных средств был переведен на жидкое топливо, а опыт создания и эксплуатации газогенераторов «обращенного дутья» был постепенно забыт.

В 70-х годах в связи с увеличением стоимости добычи высококалорийных ископаемых видов топлива (нефть, газ) возродился интерес к получению удобных для использования искусственных видов топлив (жидкое, газообразное) из низкокачественных твердых топлив (уголь, сланцы, дрова), непосредственное сжигание которых связано с рядом технических сложностей и приводит к существенному загрязнению окружающей среды.

В 1983-84 годах в Лесотехнической академии им. С.М. Кирова впервые была разработана и изготовлена стационарная опытно-промышленная установка для получения искусственного генераторного газа из древесных отходов повышенной влажности по методу «обращенного дутья» тепловой мощностью 1 МВт [6]. В ходе испытаний получен генераторный газ, который может быть использован далее в качестве удобного для сжигания топлива в различных технологических (сушилки) и энергетических (топки паровых котлов) установках.

Основными элементами газогенератора мощностью 1 МВт являются: бункер топлива, фурмы для подачи воздуха, воздухоподогреватель, воздушный тракт, тракт генераторного газа, дренаж водяных паров.

На современном этапе на основании технико-экономического анализа уточнены основные размеры газогенератора: высота – 6300 мм; наружный диаметр – 2300 мм; максимальный внутренний диаметр – 1500 мм; минимальный внутренний диаметр – 700 мм; объем бункера – 6 м³; площадь сечения в плоскости основных фурм – 1 м².

Расчетная производительность установки по древесному топливу при относительной влажности $\varphi = 30\%$ составляет $m = 550$ кг/час. Расчетная производительность установки по генераторному газу $V = 1000$ м³/час. В ходе дальнейших исследований определено, что из одного килограмма древесного топлива (шпон-рванина с относительной влажностью 44%) получается 1,7 м³ газа с низшей теплотой сгорания $Q_H^p = 5$ МДж/м³. Производительность установки составляет 900...940 м³/час топливного газа при расходе древесного топлива 510...550 кг/час.

Термический коэффициент полезного действия (η_t) газогенераторной установки, рассчитывается по формуле

$$\eta_t = \frac{V(Q_H^p + c_p \Delta t)}{m \cdot Q_H^p} \quad (1)$$

и оказывается равным 0,85...0,87.

При работе установки практически отсутствуют вредные выбросы, загрязняющие окружающую среду. Полученный газ имеет следующий состав: $\text{CO}_2 = 12,2 \dots 12,8\%$ (об.); $\text{CO} = 18,1 \dots 19,3\%$; $\text{H}_2 = 16,2 \dots 18,5\%$; $\text{CH}_4 = 1,4 \dots 2,4\%$; $\text{N}_2 = 47,1 \dots 51,3\%$.

Тепловая мощность установки, рассчитывается по формуле

$$N_{\text{т}} = V \cdot Q_{\text{н}}^{\text{р}}, \quad (2)$$

и оказывается равной 1,13...1,25 МВт или 1...1,1 Гкал/час.

Исследуемая газогенераторная установка может быть непосредственно использована для снабжения искусственным газом маломощных водогрейных котлов, технологических печей и сушилок, а также стационарных двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и газотурбинных установок (ГТУ).

В настоящее время в лесозаготовительной отрасли лесного хозяйства работает более 10 000 паровых и водогрейных котлов 130 типов различных конструкций и мощностей. В основном, тепло в виде горячей воды идет на отопление небольших жилых поселков, а в виде пара – на технологические нужды. Топливо – мазут, уголь, и, частично, дрова и древесные отходы. Большинство котлов морально и технически устарело, имеет низкий коэффициент полезного действия и непрерывно ремонтируется, топливное энергохозяйство отрасли требует срочной модернизации.

Существенный прогресс в энергоснабжении может быть сделан при переходе от сжигания привозного угля или мазута на сжигание газообразного искусственного топлива из местных древесных отходов. Во-первых, целесообразна замена имеющихся устаревших котлов на современные котлы, работающие на газообразном топливе; в дальнейшем целесообразно вообще отказаться от эксплуатации паровых и водогрейных котлов и вместо пара и горячей воды полностью перейти на новый энергоноситель – искусственное газовое топливо. Замена энергоносителя позволит осуществить качественное изменение структуры технологического и бытового теплоснабжения в лесной отрасли.

В настоящее время в нашей стране выпускается разнообразное теплотехническое оборудование, использующее, в основном, природный газ в качестве топлива и не приспособленное для использования генераторного газа. Например, газотурбинные установки для привода электрических генераторов. Газовые турбины предназначены для работы на природном газе и специальном газотурбинном топливе, а для работы на генераторном газе необходима доработка камер сгорания газовых турбин.

Газомазутные котлы типа Е (ДЕ) для получения насыщенного и перегретого пара изготавливаются Бийским котельным заводом. Для работы их

на генераторном газе необходимо только переоборудование горелочных устройств котлов.

Различного рода сушильные установки для сушки древесины и изделий из нее, работающие на природном газовом топливе, получили широкое распространение. Для перевода этих сушилок на генераторный газ потребуется некоторая переделка топочной камеры. Перевод силовых установок транспортных средств (автомобили, тракторы, суда) на работу на генераторном газе с высокой теплотой сгорания также вполне реализуем, но потребует доработки конструкции двигателей.

Результаты и обсуждение исследований

Таким образом, необходимо обеспечить изготовление теплотехнической аппаратуры для использования в качестве топлива искусственного газа термической переработки древесины. Изготовление самих газогенераторов не представляет сложности на основании накопленного опыта, однако целесообразнее организовать серийное их изготовление.

Основным звеном газификации различных отраслей лесной промышленности должны быть стационарные, непрерывно действующие, надежные в работе, автоматизированные газогенераторные установки (ГГУ), создаваемые вблизи центральных пунктов сбора древесных отходов.

В комплект газогенераторной установки должны входить собственно газогенератор (или блок газогенераторов), система топливоподачи, склад хранения и подготовки топлива, газгольдерная станция для резервного хранения получаемого газа, система подготовки, распределения и подачи газа потребителям. Для обслуживания ГГУ необходимо минимальное количество персонала, в основном, на операциях доставки и подготовки топлива (3...4 человека на одну ГГУ).

В случае перевода на искусственное газовое топливо транспортных установок (автомобили, тракторы, суда) предполагается баллонная система обеспечения установок газовым топливом. Баллоны будут заполняться сжатым газом на пункте распределения и подачи газа потребителю и затем устанавливаться на транспортное средство. Такая система принципиально отличается от системы работы транспортных средств на «дровах», широко распространенной в 40-60 годах, и является более простой, надежной и удобной эксплуатации.

Для обеспечения перевода отраслей лесной промышленности газовое топливо, получаемое в результате переработки древесного топлива и отходов в газогенераторных установках, необходимы углубленные научно-технические и экономические проработки.

Заключение и выводы

Если основной вопрос газификации – это создание простой и надежной в работе ГГУ для получения практически чистого энергетического газа можно считать решенным, то требуют своего решения целый ряд других не менее важных вопросов:

1. Разработка математических моделей процессов в ГГУ различных типов и конструкций.
2. Разработка принципов и систем автоматизации работы ГГУ, включая склад хранения и подготовки древесного топлива, систему хранения и распределения газа.
4. Создание ГГУ для получения генераторного газа с высокой теплотой сгорания.
5. Экономическое обоснование целесообразности перевода теплового энергоснабжения предприятий с привозного жидкого и твердого топлива на искусственный газ.

По мере решения перечисленных вопросов могут возникнуть и другие вопросы, требующие экономических расчетов и научно-технических проработок.

Целесообразно рассмотреть вопрос об обеспечении лесной отрасли тепловой, а возможно и электрической энергией. Лесная отрасль может и должна обеспечить себя топливом за счет растительности – единственного вида возобновляемого ресурса. Это обеспечение может идти как за счет древесных отходов и целевого выделения части заготавливаемой древесины только на топливо, так и за счет создания специальных энергетических (топливных) плантаций.

Библиографический список

1. *Самылин, А, Яшин, М.* История развития транспортных газогенераторов. Часть 1. / А. Самылин, М. Яшин // ЛесПромИнформ. – 2010. – №7(73). – С. 158-166.
2. *Самылин, А, Яшин, М.* История развития транспортных газогенераторов. Часть 2. / А. Самылин, М. Яшин // ЛесПромИнформ. – 2011. – №1(75). – С. 160-164.
3. *Самылин, А, Яшин, М.* История развития транспортных газогенераторов. Часть 3. / А. Самылин, М. Яшин // ЛесПромИнформ. – 2011. – №5(79). – С. 155-164.
4. *Самылин, А, Яшин, М.* История развития транспортных газогенераторов. Часть 4. / А. Самылин, М. Яшин // ЛесПромИнформ. – 2011. – №6(80). – С. 142-146.
5. *Самылин, А, Яшин, М.* История развития транспортных газогенераторов. Часть 5. / А. Самылин, М. Яшин // ЛесПромИнформ. – 2012. – №2(84). – С. 142-146.
6. *Лямин, В.А.* Газификация древесины. / В.А. Лямин. – М.: Лесная пром-ть, 1967. – 262 с.
7. *Добров, А.Б., Леонтьев, А.К.* Газогенераторы на древесном топливе. / А.Б. Добров, А.К. Леонтьев // Экспресс-информ: зарубежный опыт. – Вып. 9. – М.: ВНИПИЭИ Леспром., 1989. – с. 2-36.

Сведения об авторах

ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Куликов А.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7746-2999
e-mail	ltuttsu@mail.ru
ФИО	Петров В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6964-7222
e-mail	vetalik.p99@mail.ru

Аннотация

Сегодня поиск новых решений для обеспечения теплом и электроэнергией за счет местных отходов является актуальным. Для улучшения регионального энергоснабжения проанализирована возможность использования в качестве топлива и энергоносителя искусственное газообразное топливо, получаемое в газогенераторных установках на основе использования отходов предприятий (кора, опилки, стружка, навоз и т.п.).

Выводы. Если основной вопрос газификации – это создание простой и надежной в работе газогенераторной установки (ГГУ) для получения практически чистого энергетического газа можно считать решенным, то требуют своего решения целый ряд других не менее важных вопросов:

1. Разработка математических моделей процессов в ГГУ различных типов и конструкций.

2. Разработка принципов и систем автоматизации работы ГГУ, включая склад хранения и подготовки древесного топлива, систему хранения и распределения газа.

3. Создание ГГУ для получения генераторного газа с высокой теплотой сгорания.

4. Экономическое обоснование целесообразности перевода теплового энергоснабжения предприятий с привозного жидкого и твердого топлива на искусственный газ.

По мере решения перечисленных вопросов могут возникнуть и другие вопросы, требующие экономических расчетов и научно-технических проработок.

Целесообразно рассмотреть вопрос об обеспечении лесной отрасли тепловой, а возможно и электрической энергией. Лесная отрасль может и должна обеспечить себя топливом за счет растительности – единственного вида возобновляемого ресурса. Это обеспечение может идти как за счет древесных отходов и целевого выделения части заготавливаемой древесины только на топливо, так и за счет создания специальных энергетических (топливных) плантаций.

Ключевые слова: генераторный газ; газогенераторная установка; теплота сгорания; термический коэффициент полезного действия; тепловая мощность; generator gas; gas generator set; heat of combustion; the thermal coefficient useful action; thermal power.

УДК 662.76

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 61.53.19

Использование твердых бытовых отходов для получения тепловой энергии

Жвакина С.В., Иванова И.В.

Введение

Твердые бытовые отходы (ТБО) – это возобновляемое углеродосодержащее энергетическое сырье для топливной энергетики. Однако, подавляющая масса твердых бытовых отходов в мире складывается на мусорных свалках или на специально организованных «мусорных полигонах» [1]. Это самый неэффективный способ борьбы с ТБО, загрязняющий окружающую среду. На сегодняшний момент остро стоят проблемы утилизации твердых бытовых отходов. Существующие методы обращения с отходами уже не актуальны и требуют внимания и специалистов, и рядовых граждан.

Зарубежный опыт показывает, что рациональная организация переработки ТБО дает возможность использовать их до 90%. По данным [2] из 1000 кг твердых бытовых отходов можно получить тепловую энергию, эквивалентную сжиганию 250 кг мазута, при этом получить помимо тепловой энергии около

690 кВт · ч электроэнергии. Таким образом, реальная экономия будет еще больше, поскольку не учитывается факт сохранения первичного сырья и затраты на его добычу.

В настоящее время уровень сжигания бытовых отходов в отдельных странах различен. Так, из общих объемов бытового мусора доля сжигания в таких странах, как Австрия, Италия, Франция, Германия – 20...40%; Бельгия, Швеция – 48...50%, Япония – 70%, Дания, Швейцария – 80%, Англия и США – 10%. В России сжиганию подвергаются лишь около 2% бытового мусора. Важным дополнением является то, что, по зарубежным данным, сжигание мусора целесообразно применять в городах с населением не менее 15 тыс. человек, при производительности печи около 100 т/сут. Так, из каждой тонны отходов можно выработать около 300...400 кВт · ч электроэнергии [3].

Цели и задачи

Целью работы является изучение возможности получения новых путей выработки тепловой энергии за счет использования ТБО, уменьшения их негативного воздействия на окружающую среду и топливной экономии.

Методика исследования

Сжигание – это распространенный способ уничтожения ТБО, который широко применяется с конца XIX века. Сжигание бытового мусора, помимо снижения его объема и массы, позволяет получать дополнительные энергетические ресурсы, которые могут быть использованы для получения теплоты и производства электрической энергии. К числу недостатков этого способа относятся: выделение в атмосферу вредных веществ (при сжигании получают 28...44 % золы от сухой массы и газообразные продукты – двуокись углерода, пары воды, различных примесей, в отходящих газах имеются органические соединения – альдегиды, хлорорганические соединения и пр.) [3].

Для повышения экологической безопасности необходимым условием при сжигании мусора является соблюдение ряда принципов. К основным из них относятся: температура сжигания, которая зависит от вида сжигаемых веществ; продолжительность высокотемпературного сжигания; создание турбулентных воздушных потоков для полноты сжигания отходов. Здесь надо отметить, что большинство мусоросжигающих заводов в России было построено в тот период, когда не были ужесточены нормы выброса газовой составляющей. Однако сейчас стоимость газоочистки на этих заводах существенно возросла, вследствие чего необходимо строительство современных, более экологически безопасных мусороперерабатывающих комплексов.

С этой целью имеет смысл оборудовать заводы трехступенчатой сухой системой очистки дымовых газов, обеспечивающей соответствие самым строгим экологическим стандартам. Суть метода такова. Первая ступень

очистки находится в котле: дымовые газы более 2 секунд выдерживаются при температуре свыше 850 °С, что обеспечивает разложение диоксинов. Также в котле происходит нейтрализация оксидов азота. Вторая ступень – очистка в реакторе от органических веществ, тяжелых металлов и кислотных составляющих с помощью активированного угля и гашеной извести. На этой стадии разрушаются вторичные диоксиды, которые образуются при охлаждении дымовых газов на выходе из котла. Третья ступень – очистка дымовых газов в рукавном фильтре от золы, пыли и продуктов газоочистки. После очистки дымовые газы удаляются через трубу, на выходе из которой происходит мониторинг выбросов вредных веществ в режиме реального времени. Преимуществом сухой системы газоочистки является отсутствие выбросов загрязненных сточных вод.

Сжигание можно разделить на два типа: непосредственное сжигание, при котором получается только тепло и энергия, и пиролиз, при котором образуется жидкое и газообразное топливо. Технология высокотемпературного сжигания отходов с использованием колосниковой решетки обеспечивает равномерный процесс горения и экологическую безопасность. Сжигание отходов осуществляется на подвижной колосниковой решетке, охлаждаемой воздухом. Максимальная температура в зоне горения составляет 1260 °С. Она обеспечивает равномерный процесс горения, который исключает выброс в атмосферу вредных продуктов горения, а также производит большое количество тепла, которое нагревает пар.

Получаемый в котле пар направляется в турбогенератор для производства электроэнергии, которая поставляется в сеть (на собственные нужды завода расходуется 5...10% производимой энергии). После турбины пар по трубам направляется в конденсатор, где преобразуется обратно в воду и возвращается в котел, таким образом, продолжая работать в замкнутом цикле. Пар, поступающий на производство энергии, и дымовые газы циркулируют в разных контурах и никогда не смешиваются в технологическом процессе.

При сжигании отходов образуется шлак, который составляет 30% от массы и 10% от входящего объема отходов и имеет такой же класс опасности, как и несортированные отходы. Он направляется на охлаждение, а затем выгружается на ленточный транспортер. По ходу движения из шлака отбираются черные и цветные металлы, которые впоследствии направляются на переработку. После сжигания отходы уменьшаются на 90% в объеме.

Летучая зола, оседающая на фильтрах, составляет 3% от перерабатываемых отходов и обладает более высоким классом опасности. Зола нейтрализуется путем цементирования.

В этом направлении уже ведутся исследования и первые попытки строительства 5 экологически безопасных заводов по выработке энергии из отходов в Московской области и в Республике Татарстан. Проект называется «Чистая Страна». Создатели проекта обещают, что ежегодный объем переработанных в энергию отходов на 4 заводах в Московской области составит 2800 тыс. тонн отходов, а 1 завод в Казани – 550 тыс. тонн отходов.

Таким образом, 4 завода в Московской области и 1 завод в Казани по приближенным оценкам дадут суммарную энергию, которой могут воспользоваться 1 200 000 жителей области [4].

Результаты и обсуждение исследований

В целом твердые бытовые отходы обладают всеми необходимыми свойствами, которые позволяют считать их топливом:

- достаточная химическая активность обеспечивает возможность горения ТБО в кислороде воздуха;
- энергетическая ценность ТБО сопоставима с энергетической ценностью низкокалорийного топлива, используемого в энергетике;
- непрерывное воспроизводство ТБО населением, проживающим на определенной территории, позволяет считать их запасы достаточными для промышленного использования.

Единственное на что следует обратить внимание, так это на их теплоту сгорания, которая во многом определяется углеродом и водородом – основными составляющими органических компонентов. В среднем теплота сгорания ТБО составляет 1900...2400 ккал/кг, но иногда может достигать 3300 ккал/кг. В будущем ожидается увеличение теплоты сгорания отходов, что, безусловно, должно будет влиять на конструктивные особенности элементов теплогенерирующих установок. Следует подчеркнуть, что теплота сгорания ТБО зависит от многих факторов, но существенно от времени года и это является одним из основных отличий несортированных ТБО от ископаемого природного топлива. Для обеспечения потребителей теплоносителями необходимых параметров или требуемыми мощностями электричества наряду со сжиганием ТБО необходимо предусматривать и использование ископаемого топлива, которое будет гасить все колебания параметров, связанные со спецификой сжигания отходов, а также сможет покрыть пики потребления.

Выводы

Данное исследование позволяет судить о переходе России на новый уровень переработки ТБО, а также о возможности использовать отходы для получения дешевой тепловой и электрической энергии. Отказ от свалок позволит значительно снизить негативное влияние на окружающую среду, обеспечит бесплатным топливом городские мусороперерабатывающие заводы.

Библиографический список

1. Сметанин, В. И. Решение проблемы утилизации твердых бытовых отходов / В.И. Сметанин // Менеджер-эколог. – 2007. – № 1 – С. 12 – 14.
2. Жилинская, Я.А. Научно-методический подход к повышению ресурсного потенциала отходов производства и потребления / Я.А. Жилинская // Экология и промышленность России. – 2007. – №10. – С. 26 – 29.
3. Анохина, С. Лесная индустрия / С. Анохина // Деловой журнал. № 2 Альтернативная энергия. – 2009. – С. 42 – 45.
4. Энергия из отходов / [Электронный ресурс]: интернет-сайт <https://w2e.ru/>

Сведения об авторах

ФИО Жвакина С.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 8034-3297
e-mail zsanita@inbox.ru

ФИО Иванова И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрены проблемы утилизации твердых бытовых отходов. Выявлена и обоснована необходимость предпринимать меры и искать новые методы обращения с ТБО, так как старые не соответствуют нынешним требованиям. Подробно рассмотрен метод сжигания ТБО при температуре 1260 °С, так как он обеспечивает равномерный процесс горения, который исключает выброс в атмосферу вредных продуктов горения, а также производит большое количество тепла, которое нагревает пар, используемый для получения тепло- и электроэнергии.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, сжигание, тепловая энергия; municipal solid waste, incineration, heat energy.

УДК 62.67

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 61.53.91

Технологии сжигания твердых бытовых отходов в теплогенерирующих установках

Жвакина С.В., Иванова И.В.

Введение

Россия занимает огромную территорию со значительным количеством и крупных городских мегаполисов, и небольших населенных пунктов, в которых перспектива цивилизованного решения проблемы утилизации твердых бытовых отходов (ТБО) достаточно далека. На городских свалках даже среднего населенного пункта ежегодно скапливаются сотни тысяч тонн бытовых отходов. Дымящиеся свалки, кучи выброшенного хлама, переполненные мусорные баки – в России такие картины знакомы многим городским и сельским жителям. В последние годы масса ТБО, поступающих постоянно в окружающую среду, стремится к 500 млн. т. в год [1].

За последние десятилетия, особенно с началом широкого использования пластиков и других полимерных материалов, утилизация мусора, бытовых и промышленных отходов стала одной из первоочередных проблем экологии окружающей среды. Если не считать решением создание специальных полигонов для хранения твердых отходов, то наиболее эффективным является сжигание всего, что только может гореть и при этом не годится для вторичной переработки, естественно, используя фильтрационное оборудование и различные технологии, направленные на предотвращение выброса продуктов горения в атмосферу. Однако, даже сжигать мусор можно с пользой.

Твердые бытовые отходы (ТБО) – это топливо, сопоставимое по теплоте сгорания с торфом и некоторыми марками бурых углей. Оно образуется там, где тепловая и электрическая энергия наиболее востребована, т.е. в больших городах, и имеет гарантированное предсказуемое возобновление, пока существует человечество.

Работа тепловых электрических станций (ТЭС) на ТБО не зависит от природных условий, географического расположения, и в результате ее эксплуатации, помимо выработки энергии, решается важная социальная задача – утилизируются образующиеся в процессе жизнедеятельности человека бытовые отходы.

Цели и задачи

Целью работы является рассмотрение технологии сжигания твердых бытовых отходов в теплогенерирующих установках с возможностью выработки тепловой энергии, что позволит частично решить накопившиеся проблемы переработки ТБО и уменьшить негативное воздействие на окружающую среду.

Методика исследования

В отечественной и мировой практике наибольшее распространение получили три метода утилизации и термического обезвреживания ТБО:

- слоевое сжигание неподготовленных, исходных отходов в мусоросжигательных котлах;
- камерное или слоевое сжигание обогащённых отходов (специально подготовленных), очищенных от балластных составляющих и имеющих относительно стабильный фракционный состав в цементных печах или в топках энергетических котлов;
- пиролиз отходов, как обогащённых (прошедших предварительную подготовку), так и нет (исходных, неподготовленных).

Для обеспечения экологической безопасности при сжигании мусора необходимо соблюдать ряд принципов. Поддерживать заданную температуру и продолжительность сжигания, которые зависят от типа сжигаемых веществ; создавать турбулентные воздушные потоки, обеспечивающие полноту сжигания отходов. В связи с тем, что отходы сильно различаются по физико-химическим свойствам и источникам образования, существует множество типов оборудования и технических средств для сжигания. В настоящее время ведутся исследования, направленные на совершенствование процессов сжигания. Они обусловлены ужесточением экологических норм и изменением состава ТБО. Например, замена воздуха, подаваемого к месту сжигания отходов на кислород, приводит к ускорению процесса сжигания, что обеспечивает снижение объёма горючих отходов, изменяет их состав, позволяет получить стеклообразный шлак и полностью исключить фильтрационную пыль, подлежащую подземному складированию.

Также к современным способам можно отнести сжигание мусора в псевдосжиженном слое. При этом способе достигается высокая полнота сгорания отходов при минимальном выходе вредных веществ [2, 3].

В настоящее время топливо из ТБО получают в виде брикетов и гранул, а также в измельченном состоянии. Поскольку сжигание топлива в измельчённом состоянии сопровождается образованием большого количества пыли, а использование топлива в виде брикетов приводит к трудностям при загрузке печи и поддержании устойчивого процесса горения, предпочтение отдаётся гранулированному топливу. Также необходимо отметить, что при сжигании гранулированного топлива намного выше КПД котла. Процесс сжигания мусора обеспечивает минимальное содержание разлагающихся веществ в шлаке и золе, но является источником выбросов в атмосферу вредных веществ. В современных условиях главным направлением, обеспечивающим сокращение выброса вредных веществ в окружающую среду, является отдельный сбор или сортировка ТБО.

В последнее время широкое распространение получил способ совместного сжигания ТБО и шламов сточных вод. В нашей стране методы утилизации ТБО с использованием пиролиза малоизвестны из-за своей дороговизны. Суть процесса пиролиза заключается в необратимом химическом изменении ТБО под действием температуры без доступа кислорода. Предприятия по переработке ТБО пиролизом в настоящее время функционируют в США, Дании, Японии, Германии и других развитых странах. Наиболее широко научные исследования и практические разработки в этой области начались в 70-х годах прошлого века, в период так называемого «нефтяного бума». С этого времени получение энергии и тепла путём пиролиза из резиновых, пластмассовых и других горючих отходов стало рассматриваться как один из важных источников выработки энергетических ресурсов. Наибольшее значение этому процессу придают в Японии [2].

С учетом выше изложенного предлагается технология с возможностью утилизировать отходы и преобразовывать энергию их горения для генерации тепла и электроэнергии. Кроме того, в целях экономической безопасности объекта должна быть реализована многоступенчатая система очистки топочного газа и утилизации несгоревших отходов [4].

Утилизация мусора происходит следующим образом. Каждый день такая теплоэлектростанция (ТЭЦ) принимает грузовые автомобили, которые сгружают ТБО на специальную площадку в огромном крытом ангаре. Затем, после небольшой сортировки, отходы сталкиваются бульдозером в огромный бункер, где подвергаются обработке с помощью мостовых кранов. У крановщиков три важные задачи: перемешать отгруженное топливо, проконтролировать, чтобы в топливе не осталось крупногабаритных предметов или обломков металлоконструкций, и пометить его в раструбы, по которым через шахту топливо доставляется к котлам.

Котел с колосниковой решеткой должен иметь зону просушки, зону сжигания и зону догорания. Тело самих печей состоит из труб, по которым под действием выделяемого при горении тепла испаряется вода. Далее нагретый пар под давлением поступает в основные рабочие паропроводы станции, где он приводит в действие паровые турбины и генераторы, вырабатывая электроэнергию, а затем подается в теплообменник, нагревая воду, подаваемую в городские теплосети для отопления жилых и промышленных помещений.

Когда топливо (бытовые отходы) прогорает, шлак попадает в огнетушащий чан, откуда поступает в клинкерный бункер, а затем – в цех удаления и переработки отходов. Здесь с помощью магнитного сепаратора из шлака удаляется металлический лом, а сам шлак можно использовать в качестве добавки при приготовлении асфальтобетонных смесей для дорожного

строительства. Несгоревший остаток составляет в среднем 12% от объема, поступившего на переработку ТБО.

Топочные же газы, отдав тепло в теплообменном агрегате, не выбрасываются сразу в атмосферу, а сначала поступают в специализированный цех воздухоочистки. Первая ступень очистки осуществляется с помощью электрических фильтров, улавливающих зольную пыль. Далее зола попадает на смесительный узел в цехе переработки отходов, где ее смешивают с отходами угольного производства и используют при производстве бетонных смесей. Таким образом, удастся не только предотвратить попадание присутствующих в золе тяжелых металлов в окружающую среду, но и использовать ее в дорожном строительстве.

Затем следует стадия влажной очистки топочных газов, которые в два этапа проходят через фильтры с жидкими реагентами: кислотным – для удаления соединений хлора, оставшихся тяжёлых металлов и др., и нейтральным – для удаления соединений серы. Завершающей стадией очистки топочных газов от продуктов горения является электроскуббер, выступающий в роли своеобразного «полицейского кордона» для диоксинов.

Только после такой сложной, многоступенчатой обработки топочные газы – фактически, безвредный воздух – попадают через дымовую трубу в окружающее пространство.

Результаты и обсуждение исследований

Остается добавить, что создание «мусорной» ТЭЦ такого уровня требует серьезных вложений. Достаточно сказать, что инвестиции в строительство и пуск нового энергоблока по переработке бытовых отходов, например, с перерабатывающей мощностью 35 т/ч будут составлять более 100 млн. евро. Однако, как показывает зарубежный опыт, эксплуатация такой станции приносит неплохую прибыль. Прежде всего, она избавляет город и его округу от мусора. ТЭЦ работает на абсолютно «бесплатном» топливе. Более того, существует плата за мусоропереработку, которая включена в сбор за вывоз и удаление отходов и которую ежемесячно вносят промышленные предприятия и население. При этом станции, работающие на газе и угле, должны оплачивать квоты на выбросы CO₂, а ТЭЦ на ТБО – нет, а это мощный стимул для развития новых, экологически чистых технологий производства энергии.

Выводы.

Мусоросжигание – это один из наиболее сложных и «высокотехнологичных» видов утилизации отходов. Процессу сжигания предшествует предварительная обработка ТБО с получением топлива, извлеченного из отходов. В связи с этим становится ясно, что мусоросжигание должно стать одним из компонентов сложной комплексной программ

утилизации ТБО. В свою очередь, выделенная дополнительная энергия, может быть направлена на получение отопления и электричества.

Библиографический список

1. Бытовые отходы: эпоха потребления // Экологический вестник России. – 2007. – № 12. – С. 22 – 29.
2. *Клинков, А.С.* Утилизация и переработка твердых бытовых отходов: учебное пособие / А.С. Клинков, П.С. Беляев, В. Г. Однолько, М. В. Соколов, П. В. Макеев, И. В. Шашков. – Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2015. – 188 с.
3. *Гринин, А.С.* Промышленные и бытовые отходы: хранение, утилизация, переработка / А.С. Гринин, В.Н. Новиков. – М.: Фаир-пресс, 2002. – 336 с.
4. *Бобович, Б.Б.* Переработка отходов производства и потребления: справочное пособие / Б.Б. Бобович, В.В. Девяткин; под ред. д-ра техн. наук, проф. Б. Б. Бобовича. – М.: «СП Интермет Инжиниринг», 2000. – 496 с.

Сведения об авторах

ФИО	Жвакина С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8034-3297
e-mail	zsanita@inbox.ru
ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru

Аннотация

В данной статье затронута проблема утилизации твердых бытовых отходов. Предложен и подробно описан способ сжигания ТБО с многоступенчатой системой очистки дымовых газов, позволяющий утилизировать отходы и использовать энергию их горения для генерации электроэнергии и тепла.

Ключевые слова: твердые бытовые отходы, сжигание, тепловая энергия; municipal solid waste, incineration, heat energy.

УДК 62.67

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 61.53.91

К вопросу о возможности использования продуктов процесса термолиза биомассы в бытовых печах

Иванов М.М., Иванова И.В., Андриухин М.В.

Введение

Сжигание древесины для отопления жилища и приготовления используется человечеством с древних времен и до наших дней. Однако простое сжигание дров в бытовых печах является малоэффективным, поскольку большая часть теплоты, выделяемой в процессе сжигания, уносится дымовыми газами в окружающую среду, т.е. теряется безвозвратно и не производительно, при этом также необходим постоянный контроль за процессом горения, т.е. постоянного присутствия, высокая пожароопасность и др. факторы [1].

Развитие теплоэнергетики на определенном этапе позволило отказаться от использования дровяных печей для бытовых нужд в городских условиях. Несомненно, что пользование газовыми или электроплитами, а также использование центральных отопительных систем и горячего водоснабжения создало неизмеримо более высокую комфортность бытовых условий человека [2].

Однако снабжение газом, а также использование централизованных котельных возможно и рентабельно лишь в городах или достаточно крупных поселках. В сельской местности, как правило, газификация поселков представляет большие трудности и большие затраты, а в некоторых случаях и полную невозможность ее осуществления. Поэтому использование древесины в качестве топлива для бытовых печей остается и по сей день актуальной проблемой. Но встает вопрос о более экономичном и эффективном использовании древесного топлива. Быстрый рост садоводств и дачных поселков, создание фермерских хозяйств в перспективе также создают необходимость разработки простых и удобных автономных систем теплоснабжения и газоснабжения.

Цели и задачи

Целью работы является дать анализ существующих конструкций, использующих процесс термолиза древесины для бытовых нужд.

Методика исследования

В последнее время газификации биомассы уделяется большое внимание во всем мире. Возможность более эффективного использования древесного топлива (в бытовых печах) в настоящее время изучается во многих странах. Основным направлением в этих исследованиях является проблема предварительной газификации древесины с последующим сжиганием полученного газа.

Лафонтен дает обзор достижений в этой области в различных странах и представляет газогенератор, который может быть собран любым механиком. Возможные области применения этой конструкции – для двигателей на тракторах, сельскохозяйственных машинах, двигателях на рыболовецких лодках, грузовиках, а также возможно подключение газогенератора к небольшим газовым турбинам.

Возможность использования процесса газификации древесных отходов для отопления домов и мелких предприятий была использована К. Валлеем. За основу он принял газогенератор, разработанный и применяющийся более 20 лет Швеции. Разработанный Валлеем газогенератор использует отходы древесины различной влажности, в частности древесную стружку из отходов древесины. Небольшой по размерам агрегат может быть использован для нагрева воздуха, воды, для использования в центральной отопительной системе.

Во Франции разработан бытовой газогенератор на древесном топливе следующего типа. Топливо загружается в рабочую камеру, где перемещается под действием силы тяжести в процессе газификации. Для осуществления процесса газификации рабочую камеру подается поток воздуха с помощью вентилятора. Продукты газификации сжигаются во вторичной камере. Принудительная циркуляция воздуха через газогенератор является основным условием его работы.

В Германии разработана топка для трехступенчатого сжигания дров. В первой камере производится предварительная сушка дров, во второй – газификация, в третьей камере – сжигание продуктов газификации. Топка снабжена дополнительной системой теплосъема, что повышает коэффициент полезного действия (КПД) установки [3, 4].

Во всех рассмотренных конструкциях используется процесс газификации древесины, что требует дополнительного воздушного дутья в зону газификации. Следовательно, необходимо снабжать эти установки вентиляторами или воздуходувками. Кроме того, система автоматики усложняет процесс эксплуатации, так как требует определенных знаний и навыков. Наличие указанных систем требует электропитания.

Поскольку не всегда эти требования выполнимы, то имеет смысл разработать конструкции бытовой печи длительного горения, которая не требовала бы внешних энергозатрат и была бы наиболее проста в употреблении.

Такой конструкцией может служить установка, основанная не на процессе газификации древесины, а на процессе термолиза древесины [2]. Процесс термолиза представляет собой разложение древесины под действием высоких температур без доступа воздуха. Следовательно, осуществление этого процесса

не требует дополнительной подачи воздуха в зону реакции, а, следовательно, и системы, обеспечивающей эту подачу.

Поступление топлива в зону реакции может осуществляться обычным способом, т.е. из бункера определенного объема, где создается запас топлива на достаточно длительное (расчетное) время, под действием силы тяжести топливо перемещается в реакционную камеру, где происходит собственно термолиз.

Необходимое для течения процесса термолиза количество теплоты получается при сжигании термолизного газа, получаемого на установке. Для чего реакционная камера помещается непосредственно внутри камеры сгорания. Очевидно, что для запуска установки требуется некоторое количество теплоты, полученное дополнительно извне. Это количество теплоты можно получить при предварительном сжигании в камере сгорания некоторого количества дополнительного топлива, например, дров. В рабочем режиме для поддержания реакции термолиза будет достаточно теплоты сгорания части собственного газа установки. Оставшаяся часть газа может отбираться для использования в газовой плите.

Отходящие дымовые газы также могут быть полезно использованы, если предусмотреть дополнительные поверхности теплообмена. Такая конструкция не требует особых технических знаний или навыков при эксплуатации, может быть использована не только для отопления жилых помещений, но и снабжения газом для бытовых нужд.

Длительность работы такой печи зависит от объема топливного бункера и может быть предусмотрена исходя из удобства использования и конструктивных возможностей. Например, с загрузкой 2...3 раза в сутки. Причем загрузка бункера новой порцией топлива не нарушает непрерывность действия установки. Таким образом, длительность работы печи может быть не ограничена. Рассмотренная конструкция требует экспериментальной проверки, доработки и последующего усовершенствования как установки в целом, так и отдельных узлов. В частности, необходимо найти оптимальную форму и размеры реакционной камеры.

Сегодня в России широко распространены газогенераторы для дома Энергия (Россия) и имеют мощность от 10 до 35 кВт [5]. Конструкция газогенератора включает: загрузочный бункер – это часть корпуса, она же камера, в которую происходит загрузка топлива; основная камера пиролиза, где происходит сгорание топлива под воздействием высоких температур; верхняя часть основной камеры, в которой происходит крекинг смол; устройство для выхода воздуха с обратным клапаном; нижняя часть камеры, сделана с отверстиями, для поддержания углей; технологические отверстия вверху, и сбоку для загрузки топлива, и внизу для удаления золы; трубки для выхода

газа; охладителя, проходя по которому, газ остывает до необходимой температуры; фильтры для удаления вредных примесей и частиц, рис. 1.



Рис. 1. Схема газогенератора

Это устройство, предназначенное для получения электрической и тепловой энергии, в качестве топлива используется не только метан, а так же газ, полученный методом пиролиза. Газогенератор способен работать 24 часа в сутки и снизить себестоимость одного кВт до 2 рублей. Газогенератор способен работать на опилках, угле, курином помете, торфе, любое топливо сгорает при высоких температурах. Поэтому корпус обычно варят из листового металла. Бункер изготавливается малоуглеродистой стали, он устанавливается внутри корпуса, где и закрепляется болтами. Внизу бункера делают камеру сгорания из стали, которая является жаропрочной. Все прокладки между элементами должны быть так же жаропрочные. Газогенераторы могут быть востребованы, где отсутствует природный газ, а так же локально на угольных карьерах, птицефабриках, деревообрабатывающих производствах, торфяных карьерах и т.д. [5].

Результаты и обсуждение исследований

Очевидно, что в дальнейшем можно предусмотреть использование в качестве топлива не только древесины, но и отходы сельскохозяйственного производства, животноводства и других доступных видов органического топлива. И этот опыт уже есть во многих странах, в частности, и в России. Однако, необходимо предусмотреть конструкции, позволяющие регулировать поверхность нагрева реакционной камеры в целях управления процессом. Конструкция топливного бункера должна предусматривать устройство,

препятствующее выбросу термолитического газа и попадание воздуха в зону реакции при загрузке новых порций топлива. Однако, очевидно, что такая установка могла бы иметь достаточно большой спрос в настоящее время.

Заключение и выводы

Термическая и биологическая переработка биомассы в газообразное топливо с последующим использованием его в быту и в различном энергетическом оборудовании является весьма перспективным направлением, позволяющим получить социально-бытовой, экономический и экологический эффекты.

Библиографический список

1. ГОСТ Р 53790-2010. Нетрадиционные технологии. Энергетика биоотходов. Общие технические требования к биогазовым установкам. М.: Стандартинформ, 2011. – 16 с.
2. *Панцхава, Е.С., Давиденко, Е.В.* Метангенерация твердых органических отходов городов // Биотехнология. – 1990. – Т. 6. – №4. – С. 49-53
3. *Самылин, А, Яшин, М.* История развития транспортных газогенераторов. Часть 2. / А. Самылин, М. Яшин // ЛесПромИнформ. – 2011. – №1(75). – С. 160-164.
4. *Самылин, А, Яшин, М.* История развития транспортных газогенераторов. Часть 1. / А. Самылин, М. Яшин // ЛесПромИнформ. – 2010. – №7(73). – С. 158-166.
5. *Березин, И.В., Панцхава, Е.С.* Техническая биоэнергетика. / И.В. Березин, Е.С. Панцхава // Биотехнология. – 1986. – Т.2. – № 2. – С. 1-12.
6. Энергетическая компания АГТ-генератор/ [Электронный ресурс]: интернет-сайт

Сведения об авторах

ФИО	Иванов М.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3904-1560
e-mail	kafteplotex@yandex.ru
ФИО	Иванова И.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Андрюхин М.В.

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8968-5855
e-mail gvisdo99@yandex.ru

Аннотация

Проведен анализ существующих конструкций газогенераторов, в основу работы которых положены процесс газификации древесины и процесс термолиза древесины. Очевидно, что в качестве топлива для установок эффективно использовать не только древесину, но и отходы сельскохозяйственного производства, животноводства и других доступных видов органического топлива. Полученное тепло и электроэнергия позволит повысить качество жизни в удаленных жилых поселках или единичных производствах.

Выводы. Термическая и биологическая переработка биомассы в газообразное топливо с последующим использованием его в быту и в различном энергетическом оборудовании является весьма перспективным направлением, позволяющим получить социально-бытовой, экономический и экологический эффекты.

Ключевые слова: биогаз, сжигание, термолиз, газификация, газогенератор, biogas, combustion, thermolysis, gasification, gas generator.

УДК 620.91

Раздел рубрикатора ГРНТИ 62.35.29

Энергосбережение и энергоэффективность в Российской Федерации

Бандель А.Л., Иванова И.В.

Введение

Одной из ключевых проблем сегодняшнего дня является рациональное использование энергоресурсов на территории Российской Федерации. Только на обогрев домов государством тратится до 40% всех энергоресурсов страны, а в атмосферу в результате выбрасывается огромное количество углекислого газа, что приводит к развитию «парникового эффекта». Перед страной стоят задачи, которые требуют решения: экономия энергоресурсов, решение многих проблем в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ), уменьшения загрязнения окружающей среды, увеличения рентабельности предприятий,

энергосбережение. Решением этих задач является применение комплексных мер энергосбережения и энергоэффективных технологий в стране.

Цели и задачи

Целью работы является анализ технологий энергосбережения и энергоэффективных решений на территории Российской Федерации.

Методика исследования

Для реализации энергосбережения в России, требовалось поднятие вопроса на законодательном уровне. В последние годы было принято множество важных нормативных актов. Одним из них является принятый закон в 2009 году № 261 ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности». Также Правительством РФ была утверждена государственная программа «Энергосбережение энергетической эффективности на период до 2020 года», которой предусматривается снижение энергоемкости ВВП России к 2020 году по сравнению с 2007 года не менее чем на 40% [1].

На сегодняшний день в России можно выделить несколько путей развития энергосбережения: модернизация производства с внедрением энергоэффективных технологий и оборудования; повышение энергоэффективности зданий и сооружений; стимулирование потребителей к рациональному использованию электроэнергии за счет организационных и нормативных мер, тарифной политики, субсидирования повышения энергоэффективности объектов [2].

Так, в Екатеринбурге в 2009 году проходила презентация энергосберегающего оборудования для установки во всех домах района «Академический», а затем и во всем городе. «Уральский приборостроительный завод» разработал блочно-модульный тепловой пункт, предназначенный для выравнивания параметров теплоносителя и предохранения от излишнего отопления в холодное время года. Оборудование позволяет сэкономить до 30% энергии и прослужит до 20 лет. Другой пример, Липецкие муниципальные энергетики посчитали, что с внедрением технологий, в основном, за счет освещения улиц и зданий с меньшей токовой нагрузкой и потреблением электроэнергии, удалось сэкономить около 11 млн. рублей за год. Это колоссальные объемы экономии в размерах одного города, а, если только посчитать в объеме всей РФ.

В Ярославской области смонтировали когенерационную газопоршневую установку, которая вырабатывает одновременно электрическую и тепловую энергию. Использование этой установки позволило снизить стоимость обоих видов энергии почти в два раза. А это, в свою очередь, экономия топлива, и, конечно снижение нагрузки на окружающую среду.

Одна из результативных мер в области современных энергоемких технологий была принята в Нижегородской области. Там были приняты поправки к закону о налоге на имущество предприятий, внедряющих энерго- и ресурсосберегающие технологии. Это должно повысить энергоэффективность производства, по приблизительным подсчетам, на 30%.

Если использовать и активно внедрять современные энергоэффективные технологии в ЖКХ, то одним из самых результативных решений станет введение современных автоматизированных систем контроля и учета энергоресурсов, в частности, устанавливаются счетчики дифференцированного тарифа оплаты электроэнергии и счетчики тепловой энергии в домах, квартирах во многих регионах страны [3].

Реализовывать меры эффективного энергосбережения невозможно, если на предприятии или секторе ЖКХ не обеспечивается точный учет потребления тепловой и электрической энергии. Важнейшим шагом является создание АСКУЭ (Автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии), которая обеспечивает дистанционный сбор информации с интеллектуальных приборов учета. Создание этой системы позволяет автоматизировать учет, и добиться его максимальной точности. Также система учета электроэнергии дает возможность получать ценную информацию аналитического характера, необходимую для разработки действенных решений по энергосбережению [4].

Одна из самых энергоемких отраслей промышленности, доля затрат на топливно-энергетические ресурсы, в которой может достигать более 30 %, является металлургия. К наиболее теплоемким производствам отрасли относятся доменные, коксохимические и прокатные предприятия; к электроемким – горнорудные и электросталеплавильные производства. Энергосбережению в металлургии придается большое значение в действующей стратегии развития черной и цветной металлургии России на 2014 – 2020 гг. и на перспективу до 2030 г. В приказе Министерства промышленности и торговли РФ были установлены индикаторы снижения удельной энергоемкости продукции (на 20...25% в зависимости от развития отрасли), ресурсоемкости, выбросов вредных веществ. Предполагается, что за счет внедрения энергосберегающих технологий и мероприятий в 2030 г., по сравнению с исходными данными 2012 г., удельные расходы топлива должны будут снизиться на 30 %, в том числе кокса на 35 %, природного газа – на 35 %; удельный расход электроэнергии предполагается уменьшить на 16,4 % [5].

Значительный потенциал энергосбережения на металлургических предприятиях заключается в снижении потерь, которые вызваны эксплуатацией основного оборудования, за счет замены устаревшего оборудования на более энергоэкономичное, а также внедрение энергосберегающих технологий.

К крупным инвестиционным мероприятиям в области энергосбережения, к примеру, можно отнести модернизацию на Череповецком металлургическом комбинате (ЧерМК) турбогенератора № 5 на ТЭЦ-ПВС с увеличением его номинальной мощности и замену компрессоров № 1...3 на участке разделения воздуха № 1 газокислородного цеха для снижения удельного расхода электроэнергии на производство продуктов разделения воздуха. С начала 2018 г. на ТЭЦ-ЭВС-2 увеличена среднечасовая электрическая нагрузка 10 МВт, что позволило получить дополнительную выработку электроэнергии в количестве 38,8 млн. кВт · ч.

Так, экономному энергопотреблению способствует внедрение энергосберегающих технологий в ОАО «Северсталь-метиз». Замена более 6 тысяч светильников потолочного освещения цехов на светодиодные позволила снизить расходы электроэнергии на 75%. Для предприятия это означает сокращение энергопотребления более чем на 15 тысяч МВт · ч в год. Кроме того, светодиодные системы освещения позволили улучшить условия труда и снизить затраты на ремонты и утилизацию ртутьсодержащих ламп [6].

Результаты и обсуждение исследований

К сожалению, энергосбережение в России, несмотря на активные работы в этом направлении в последнее десятилетие, фактически находится еще на начальном этапе. На Западе внедрение энергосберегающих технологий осуществляется с довоенного периода, а наиболее активное их развитие началось в 70-х годах прошлого столетия. И, на сегодняшний день, во всех странах мира стоит вопрос о чрезмерном и малоэффективном использовании ресурсов.

Создаются программы, повышающие потенциал предприятий, разрабатываются наиболее эффективные стратегии производства. Но при всем желании природные ресурсы иссякают, что может привести к глобальным последствиям для всего мира и человечества в целом. Поэтому решение проблем энергосбережения и энергоэффективности является актуальным на сегодняшний день, так как являются одними из основных факторов, влияющих на рациональное пользование земными запасами.

Выводы

Россия располагает масштабным недоиспользуемым потенциалом энергосбережения, который, по способности решать проблему обеспечения экономического роста страны, сопоставим с приростом производства всех первичных энергетических ресурсов. В стране имеется огромный потенциальный ресурс, который может быть использован при условии успешного повышения энергосбережения и энергоэффективности в

промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве (ЖКХ), а также при решении практических задач:

1. экономия энергоресурсов;
2. решение многих проблем в сфере жилищно-коммунального хозяйства;
3. уменьшение загрязнения окружающей среды;
4. энергосбережение.

С помощью применения комплексных мер энергосбережения и энергоэффективных технологий в теплоэнергетике можно внедрить следующие технологии: более эффективное производство энергии, включая современные котельные, когенерацию (тепло и электричество), а также тригенерацию (тепло, холод, электричество); замена старого промышленного оборудования на новое, более эффективное; альтернативные источники энергии.

Библиографический список

1. Федеральный Закон от 23.11.2019 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности»
2. Инженерный центр энергоаудитконтроль / Энергосбережение в России [Электронный ресурс]: интернет-сайт <http://www.ackye.ru/uchet-elektroenergii/energoberezhnie-v-rossii/>
3. Комплекс градостроительной политики и строительства города Москвы / Энергосберегающие технологии в России и за рубежом [Электронный ресурс]: интернет-сайт https://stroi.mos.ru/builder_science/energoberegausehie-tehnologii-v-rossii-i-za-rubezhom/
4. Инженерный центр энергоаудитконтроль / Создание АСКУЭ [Электронный ресурс]: интернет-сайт <http://www.ackye.ru/uchet-elektroenergii/energoberezhnie-v-rossii/>
5. Приказ Министерства промышленности и торговли РФ от 5 мая 2014 г. № 839 «Об утверждении Стратегии развития черной металлургии России на 2014 – 2020 годы и на перспективу до 2030 года и Стратегии развития цветной металлургии России на 2014 – 2020 годы и на перспективу до 2030 года».
6. Энергетика и промышленность России / [Электронный ресурс]: интернет-сайт <https://www.eprussia.ru/epr/366/9184503.htm/>

Сведения об авторах

ФИО Бандель А.Л
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7980-7630
e-mail balll@mail.ru

ФИО Иванова И.В.

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
организации Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассмотрены вопросы, которые актуальны на сегодняшний день перед страной в сфере энергоснабжения и энергоэффективности, а также реализация комплексных мер энергоснабжения и энергоэффективных технологий в России. Выводы. Россия имеет огромный потенциальный ресурс, который может быть использован при условии успешного повышения энергоэффективности в промышленности и бытовой сфере, при условии успешного и не замедлительного решения задач, а именно:

- 1) экономии энергоресурсов;
- 2) решения многих проблем в сфере жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ);
- 3) уменьшения загрязнения окружающей среды;
- 4) энергосбережения во всех отраслях народного хозяйства.

С помощью применения комплексных мер энергосбережения и энергоэффективных технологий в теплоэнергетике можно внедрить следующие технологии: более эффективное производство энергии, включая современные котельные, когенерацию (тепло и электричество), а также тригенерацию (тепло, холод, электричество); замена старого промышленного оборудования на новое, более эффективное; альтернативные источники энергии.

Ключевые слова: энергосбережение, энергоэффективность, экономия, модернизация, технологии, energy saving, energy efficiency, saving, modernization, technologies.

УДК 621.31

Разделы рубрикатора ГРНТИ: 75.31.23

Анализ аварий на энергетических объектах на территории Российской Федерации

Бандель А.Л., Иванова И.В.

Введение

За последние полвека развитие энергетической отрасли вышло на новый уровень. Однако, до сих пор одной из главных проблем являются аварии на

тепло- и электроэнергетически значимых объектах. Это приводит к тому, что происходят перебои с подачей теплоты, горячего водоснабжения (ГВС), холодного водоснабжения (ХВС), отключения электроэнергии и т.д. В соответствии с постановлением Правительства РФ от 28.10.2009 № 846 «Об утверждении правил расследования причин аварий в электроэнергетике» причины аварий в энергосистеме подлежат расследованию [1].

Цели и задачи

Целью работы является анализ аварий, произошедших на тепло- и электроэнергетически значимых объектах на территории Российской Федерации за последние несколько лет, с целью выявления причин и их предотвращения.

Методика исследования

Современная цивилизация столкнулась с грандиозной проблемой, заключающейся в том, что основа бытия общества – промышленность, сконцентрировав в себе колоссальные запасы энергии и новых материалов, стала угрожать жизни и здоровью людей, и даже окружающей среде. Авария в условиях современной техносферы, по своим масштабам и тяжести последствий, стала сравнима с природными катастрофами и разрушительными последствиями военных действий с применением ядерного оружия.

Как свидетельствуют статистические данные, последние 20 лет XX-го века принесли 56% от наиболее крупных происшествий в промышленности и на транспорте. Считается, что ущерб от аварийности и травматизма достигает 10...15% от валового национального продукта промышленно развитых государств, а экологическое загрязнение окружающей природной среды и несовершенная техника безопасности являются причиной преждевременной смерти 20...30% мужчин и 10...20% женщин. В 2015 году на территории РФ было зафиксировано около 1550 чрезвычайных ситуаций, из которых 1150 носили техногенный характер и 400 – природный. В них пострадало 18000 человек, погибло свыше 1800. Сложившаяся кризисная ситуация в вопросах аварийности и травматизма объясняется не только низкой культурой безопасности и технологической недисциплинированностью персонала, но и конструктивным несовершенством используемого промышленного оборудования [2]. К сожалению, аварийность свойственна и энергетической отрасли.

Проблема предупреждения происшествий приобретает особую актуальность в теплоэнергетике. Основными причинами крупных техногенных аварий на теплоэнергетических объектах являются:

- отказы технических систем из-за дефектов изготовления и нарушений режимов эксплуатации;

- ошибочные действия операторов технических систем;
- внешние негативные воздействия на объекты энергетики.

Оценка и обеспечение надежности и безопасности энергетических систем – одна из важнейших проблем, остро стоящих в теплоэнергетической отрасли. При несоответствии характеристик воздействующих факторов характеристикам объекта (предмета) воздействия и появляется феномен опасности. Оценка опасности различных энергетических объектов заключается в определении возникновения возможных чрезвычайных ситуаций, разрушительных воздействий пожаров и взрывов на эти объекты, а также воздействия опасных факторов пожаров и взрывов на людей. Оценка этих опасных воздействий необходима еще на стадии проектирования теплоэнергетических объектов и осуществляется на основе теории надежности и нормативных требований, разработанных с учетом наиболее опасных условий протекания чрезвычайных ситуаций и проявления их негативных факторов, пожаров и взрывов, т.е. с учетом аварийной ситуации.

К показателям технических систем относятся: надёжность (безотказность, долговечность, ремонтпригодность); эргономические, гигиенические, физиологические, психофизиологические и экологические параметры, которые определяют уровень вредных воздействий на окружающую среду при производстве и транспортировании тепловой энергии и эксплуатации теплогенерирующей установки (ТГУ); содержание вредных компонентов, выбрасываемых в окружающую среду, а также экономические показатели, характеризующие объем затрат на обеспечение допустимого уровня безопасности [2].

Среди систем теплоснабжения, ТГУ остаются самым востребованным вариантом получения энергии и тепла. Одновременно, ТГУ, согласно действующим нормам закона, относятся к опасным производственным объектам, требующим повышенного внимания к обслуживанию и эксплуатации. Аварии на ТГУ, по статистике, являются наиболее частыми техногенными чрезвычайными ситуациями в теплоэнергетике. Возникновения аварийной ситуации связано с рядом факторов. Аварии в ТГУ возникают, в первую очередь, из-за износа оборудования и систем коммуникации. Согласно данным статистики, средняя величина износа коммуникации в теплоснабжении составляет 65% [2]. Аварии в котельной могут происходить вследствие взрыва топлива. Использование газовой смеси делает котел «миной замедленного действия», и нарушение режимов правильной эксплуатации может спровоцировать взрыв газовых котлов. Причиной является перенасыщение горючей смеси, возникающее при накоплении несгоревшего топлива. Еще одной причиной взрыва топлива является нарушение работы горелок; снижение

уровня воды. Поддержание требуемого уровня воды является залогом нормальной работы котла. Длительное функционирование котельного оборудования с недостаточным уровнем воды может привести к нагреванию стальных труб и их расплавлению; нарушение режима водоподготовки. Аварии в котельных с участием промышленных котлов происходят из-за недостаточного смягчения воды или ее загрязнения. Водоподготовка является обязательной процедурой, позволяющей снизить количество образующейся накипи и устранить излишки кислорода, который служит причиной язвенной кислородной коррозии. Причина аварии, вследствие нарушения водоподготовки, характеризуется появлением сквозной ржавчины на небольшом участке оборудования, приводящей к нарушению работы, что может стать причиной аварии; нарушение правил разогрева котла. При пуске или остановке котельной, оборудование испытывает повышенные нагрузки, что требует четкого следования правилам эксплуатации. Соблюдение регламента разогрева и следование этапам, необходимых операций пуска, послужит гарантией длительного срока службы котла и предотвратит аварию.

Специально созданный государственный орган – Ростехнадзор, выполняет задачу по обеспечению безопасной работы энергетических объектов и осуществляет контроль того, как происходит ликвидация аварий на них. Ежегодно ведется учет статистических данных, позволяющих проследить динамику ситуации в отдельных регионах и в стране в целом, отследить наиболее частые причины аварии.

Вот лишь некоторые статистически крупные аварии на ТГУ за последние два десятилетия, приведшие к людским жертвам и разрушениям. 19 декабря 2002 года на Якутской ГРЭС произошла авария, в результате было отключение электроэнергии в Якутске и пригородах. Одной из причин называют замыкание высоковольтной линии. В этот день столбик термометра опустился до $-48\text{ }^{\circ}\text{C}$. На ГРЭС были остановлены все газотурбинные установки, обесточены высоковольтные линии электропередач. Был введен режим чрезвычайной ситуации (ЧС). В данной аварии обошлось без жертв и никто не пострадал, но о сумме ущерба до сих пор не известно [3].

7 октября 2003 года из-за урагана во Владимирской области без света остались 970 населенных пунктов, в Липецкой и Смоленской – 580 сел, в Тамбовской и Белгородской – 200. Были остановлены электрички и поезда дальнего следования. Причиной является обрыв контактной сети, а также линии электропередач. Главным образом, был нанесен ущерб населенным пунктам и селам.

Одна из самых крупных аварий в Средней полосе Российской Федерации произошла 25 мая 2005 года. Пострадали город Москва, Тульская, Московская,

Калужская и Рязанская области. В результате, несколько десятков тысяч человек оказались заблокированы в остановившихся поездах московского метро и лифтах, было нарушено железнодорожное сообщение и парализована работа многих коммерческих и государственных организаций. Причиной аварии стало сочетание нескольких факторов – износ оборудования, отсутствие резервных мощностей и высокая температура в Москве, сохранявшаяся в течение нескольких дней. Кроме того, в Москве сложная топология электрических схем. Топология электрических схем – это совокупность элементов, из которых состоит электрическая цепь, и способы их соединения. Это единственный регион, в котором еще со времен СССР не появилась специальная автоматика отключения нагрузки. Произошла каскадная авария.

Утром 25 мая отключилась подстанция 500 кВ ПС-214 «Очаково», расположенная в Московском районе Очаково-Матвеевское в промзоне. В Южной части Москвы, в результате этих отключений, в сети упал уровень напряжения, была потеряна генерация на ГЭС №1, на семи ТЭЦ и ГРЭС-4. После чего, также отключились еще четыре подмосковные подстанции 500 кВ – это «Ногинск», «Пахра», «Калужская», «Михайловская». В связи со снижением напряжения и частоты вышли из синхронизма и отключились пять московских ТЭЦ и еще 15 питающих центров. Энергетическая авария перешла в стадию «цепной реакции». По некоторым подсчетам, пострадали около 2 млн. человек. Первоначальная оценка ущерба составила более 11 млрд. рублей. На предприятиях Москвы, Подмосковья и близлежащих областей произошел сброс очистных вод. В частности, убытки понесли государственные и коммерческие компании. Ответственность за чрезвычайное происшествие взяло на себя руководство энергетической компании РАО «ЕЭС России». Прокуратура возбудила уголовное дело по статьям «Халатность» и «Злоупотребление полномочиями».

В 2010 году 20 августа произошла авария в энергосистеме в Санкт-Петербурге и Ленинградской области в результате возникновения нештатной ситуации на подстанции Восточная. На подстанции отключилось одновременно 4 элемента: в результате срабатывания релейной защиты, оказались отключенными две высоковольтные линии 330 кВ, соединяющие подстанцию Ленинградской АЭС с подстанцией 330 кВ «Южная», автотрансформатор мощностью 250 МВА и перемычка, соединяющая два открытых распределительных устройства 330 кВ подстанций. Возможной причиной срабатывания автоматики стало повреждение кабеля, обеспечивающего питание и коммуникацию устройства РЗА (релейной защиты). В результате, это привело к полному или частичному нарушению электроснабжения нескольких районов Санкт-Петербурга, а также в электрической сети были отключены

Северная, Выборгская, Центральная, Правобережная, Дубровская ТЭЦ и Светогорская ГЭС с полным прекращением генерации и потерей электроснабжения собственных нужд электростанций. Пострадали от данной аварии более 2 млн. человек, были остановлены 68 электропоездов и 6 поездов. Всего было отключено 1,46 ГВт мощности электропотребителей [4].

Большой ущерб от событий, произошедших в Крыму, где с 20 ноября по 8 декабря 2015 года, в результате подрыва опор линий электропередачи с материковой Украины в Крым, было полностью прекращено энергоснабжение полуострова. В Крыму был введен режим ЧС и начаты веерные отключения. Веерное отключение – это циклическое отключение потребителей от электросети с целью ограничения объема потребляемой энергии, происходит из-за аварий, либо по экономическим причинам [5].

24 октября 2016 года на территории ТЭЦ-1 в городе Салават в Башкирии произошел крупный пожар на площади 1,2 тысячи квадратных метров. Возгорание произошло на неэксплуатируемой градирне (устройство для охлаждения большого объема воды.) Пострадавших не было, технологический процесс ТЭЦ-1 нарушен не был, но авария несет колоссальный материальный ущерб, насчитывающий ущерба в миллионы рублей [6].

Крупная энергоавария произошла утром 1 августа 2017 года на Дальнем Востоке России. Действием защит отключились: высоковольтные линии (ВЛ) 500 кВ «Бурейская ГЭС – Амурская»; первая цепь ВЛ 500 кВ «Бурейская ГЭС – Хабаровская»; межгосударственная ВЛ 500 кВ «Амурская – Хэйхэ»; ВЛ 220 кВ «Хабаровская – Волочаевка тяговая»; ВЛ 220 кВ «Хабаровская – Левобережная». По данным мощность отключенных потребителей в результате аварии на Дальнем Востоке достигла 1,15 тыс. МВт. Суммарно более 1,5 миллиона жителей было без электроснабжения [7].

11 июля 2019 года на Северной ТЭЦ в подмосковных Мытищах произошел прорыв газопровода. Общая площадь составила 1,4 тыс. кв. метров, в результате возгорания пострадало 12 человек. Ущерб от пожара на ТЭЦ оценивается в 150 млн. рублей. После пожара было возбуждено уголовное дело «О нарушении правил безопасности и не защищенности топливно-энергетического комплекса» [8].

Количество аварий, произошедших на территории Российской Федерации, насчитываются, к сожалению, не единичными случаями. Большинство объектов энергетики (энергогенерирующие и энергопотребляющие объекты) эксплуатируются в сложных технологических условиях, таких как высокие температуры, давление, и являются сложными техническими системами, состоящими из отдельных узлов, деталей, агрегатов, устройств контроля, управления, которые в свою очередь совершенствуются и модернизируются.

Практика показывает, что основные инциденты и аварии происходят в процессе эксплуатации оборудования, технических средств по различным причинам: это оборудование, выработавшее свой ресурс, и отсутствие надежных технологических систем и средств защиты, имеет место и низкая производственная дисциплина персонала, недостатки надзора и контроля со стороны контролирующих органов. Особо важно отметить, что большую роль играет недостаточная и несвоевременная информация о качестве технического состояния эксплуатируемого объекта в процессе его эксплуатации. Опыт эксплуатации высоконагруженных промышленных энергетических объектов показывает, что при увеличении надежности и достоверности диагностики технического состояния, своевременной информации о качестве технического состояния эксплуатируемого объекта, в процессе его эксплуатации, позволяет снизить риск аварии, обеспечить промышленную безопасность и прогнозировать ресурс работающего объекта.

Анализ аварий показал, что при работе и обслуживании ТГУ могут произойти следующие нежелательные события: утечка вредных веществ в окружающую среду, пожар, взрыв и т.д., что может привести к аварии, и, как следствие, к серьезным экономическим и социальным последствиям. Поэтому, создание эффективного мониторингового метода, несущего качественную и количественную диагностическую информацию эксплуатационного состояния объекта, позволяющего оценить его техническое состояние, выявить области повышенных напряжений и деформаций, рассчитать величину напряжений и деформаций, оценить возможность образования и роста дефектов. Всё это является основными целями контроля, которые имеют большое значение в безопасной эксплуатации высоконагруженных энергетических объектов.

Выводы

Для уменьшения аварий на объектах тепло- и электроэнергетики федерального назначения и уменьшения внештатных ситуаций необходимо:

1. уделить большее внимание качественной подготовки высококвалифицированных специалистов, повышению их квалификации на тепло- и электроэнергетических объектах Российской Федерации;
2. улучшить контроль и своевременную диагностику эксплуатируемых объектов теплоэнергетики для обеспечения бесперебойной работы энергетического комплекса;
3. усилить меры безопасности охраняемых энергетических объектов, чтобы предотвращать экстренные ситуации.

Библиографический список

1. Постановлением Правительства РФ от 28.10.2009 № 846 «Об утверждении правил расследования причин аварий в электроэнергетике».
2. *Овчаенко, В.Л.* Надежность технических систем и техногенный риск. / В.Л. Овчаенко. – Донецк.: ДонНТУ, 2016. – 122 с.
3. ИА REGNUM / [Электронный ресурс]: интернет-сайт <https://regnum.ru/news/76045.html/>
4. Свободная энциклопедия / Википедия [Электронный ресурс]: интернет-сайт [https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_в_энергосистеме_в_Москве_\(2005\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_в_энергосистеме_в_Москве_(2005)).
5. Свободная энциклопедия / Википедия [Электронный ресурс]: интернет-сайт https://ru.wikipedia.org/wiki/Веерное_отключение.
6. РИА Новости / [Электронный ресурс]: интернет-сайт <https://ria.ru/20170126/1486551428.html/>
7. Свободная энциклопедия / Википедия [Электронный ресурс]: интернет-сайт https://ru.wikipedia.org/wiki/Авария_в_энергосистеме.
8. Яков Лысенко / Газета.ru [Электронный ресурс]: интернет-сайт <https://www.gazeta.ru/social/2019/07/11/12492091.shtml/>

Сведения об авторах

ФИО	Бандель А.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	7980-7630
e-mail	balll@mail.ru
ФИО	Иванова Ирена Викторовна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены аварии некоторых энергетических объектов на территории Российской Федерации за последние несколько лет. Названы основные причины аварий и их последствия, а также были даны рекомендации по их предотвращению. Выводы. Для уменьшения аварий на объектах тепло- и электроэнергетики федерального назначения и уменьшения внештатных ситуаций необходимо:

1) уделить большее внимание качественной подготовки высококвалифицированных специалистов, повышению их квалификации на тепло- и электроэнергетических объектах Российской Федерации;

2) улучшить контроль и своевременную диагностику эксплуатируемых объектов теплоэнергетики для обеспечения бесперебойной работы энергетического комплекса;

3) усилить меры безопасности охраняемых энергетических объектов, чтобы предотвращать экстренные ситуации.

Ключевые слова: энергия, аварии, последствия, ущерб, энергоснабжение, электричество, energy, accident, consequences, damage, energy supply, electricity.

УДК 656.081

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 81.93.21

Перспективные исследования анаэробной переработки растительной биомассы в топливо

Иванова И.В., Тюляков В.Е.

Введение

Биолог Н. Реймерс утверждает: «Нас (человечество) сейчас отделяет от тепловой смерти биосферы лишь один порядок циннии. Будем использовать в 10 раз больше энергии, чем сейчас, и погибнем». Причина заключается в так называемом «парниковом эффекте»: содержащийся в атмосфере диоксид углерода (CO_2) пропускает солнечные лучи на Землю, но препятствует охлаждению Земли путем излучения в космос. В последние годы ученые мира со все большим беспокойством говорят о повышении концентрации CO_2 в атмосфере. Кроме выбросов CO_2 , теплогенерирующие установки производят тепловые загрязнения (выбросы нагретой воды и газов), химические (оксиды серы и азота), золу и сажу, которые с увеличением масштаба производства также создают серьезные проблемы. Фактическая экология ставит человечество перед необходимостью делать производство безотходным.

В связи с ограниченными запасами нефти и газа и невозможностью решить полностью энергетическую проблему за счет только одного какого-либо альтернативного источника энергии (ядерной, ветровой, солнечной и т.п.) представляется целесообразным наряду с использованием энергии традиционных источников развивать все возможные и экономически оправданные альтернативные способы ее получения. Экономические факторы также заставляют увеличивать степень использования добываемого топлива. Сегодня выгоднее вкладывать средства не в увеличение добычи топлива, а в

разработку технологических процессов, обеспечивающих более экономичное его использование [1].

Наряду с этим дальнейшее развитие должны получить возобновляемые источники энергии. В первую очередь с использованием растительной биомассы, путем использования древесины и отходов ее переработки, а также сельскохозяйственных отходов [2].

В настоящее время все большее распространение получает точка зрения, согласно которой простое сжигание или термическое разложение (пиролиз) являются устаревшими и малоэффективными способами получения энергии.

Цели и задачи

Целью работы является проанализировать биотехнологический метод получения энергии и тепла, с помощью которого исходную растительную биомассу можно превратить в более полезные или удобные для энергетического использования формы.

Биотехнологии давно применяются во многих странах, но именно сегодня они приобретают особое значение. Вследствие ухудшения экологической обстановки на планете и высокой стоимости энергоносителей, многие устремляют свои взоры в сторону альтернативных источников энергии и тепла. Развитие биотехнологии позволяет существенно интенсифицировать производство, повышать эффективность использования природных ресурсов, решать экологические проблемы, создавать новые источники энергии.

Конкуренцию термическому способу получения метанола в больших масштабах представляет биотехнологический метод, с помощью которого исходную растительную биомассу можно превратить в более полезные или удобные для энергетического использования формы. Например, в жидкую (этанол, метанол и др.) или газообразную (метан, водород). Многие высокоразвитые страны (Швеция, Австралия и другие) предполагают в ближайшем будущем удовлетворять значительную часть своих потребностей в энергии за счет биотехнологий [2]. При этом производство биологического топлива перестает быть побочным и становится основным в процессах биотехнологической переработки древесины, отходов древесины, сельскохозяйственного и других производств, включая коммунальные и промышленные стоки с большим содержанием целлюлозы и углеводов.

В связи с тем, что большое количество органических отходов, проблемы их переработки характерны и во многом одинаковы для всех стран, целесообразно рассмотреть основные пути решения этой проблемы в различных странах и регионах. Одним из путей является переработка отходов в жидкое топливо.

В настоящее время особое внимание за рубежом и в России уделяется изучению вопросов микробиологического производства топливного спирта (этанола). Проведены успешные испытания автомобилей с двигателем, работающим на 95% этаноле, причем 1 л этого горючего достаточно для 5 км пробега, для примера 1 л бензина – для 7,5 км. Большим преимуществом автомобилей на этаноле является то, что выхлопные газы содержат в 60 раз меньше окиси углерода, чем при использовании бензина. Однако биологическое получение этанола в промышленных масштабах требует, как ферментаторов большого объема (до 1000 м³), так и разработки новых способов и принципов организации процесса, включая использование новых штаммов микроорганизмов. Последняя задача связана с производительностью биотехнологических установок, которая пропорциональна скорости роста микроорганизмов. Методы генетической инженерии позволяют создавать штаммы микроорганизмов, стабильно растущих в термофильных условиях, что в свою очередь позволяет увеличить производительность установок в процессе ферментации. Получены термофильные анаэробные бактерии, которые активно разрушают целлюлозосодержащие отходы. Так, например, в Германии разработан биотехнологический метод получения этанола из растительных, сельскохозяйственных и пищевых отходов: древесины, бумаги, макулатуры, травы, опилок, всех видов соломы, сточных вод целлюлозно-бумажных заводов. Производительность установки 400...20000 л этанола в час [2].

Весьма перспективна также переработка органического вещества различного вида отходов в газообразное топливо в анаэробных условиях. При этом 90% сброженных органических веществ превращаются в метан и углекислый газ. Удельный выход биогаза при разложении жиров в 1,5 раза выше, чем при разложении углеводов и белков. Качественный состав газов брожения в значительной степени зависит от состава сбраживаемых сред. Например, при сбраживании жиров и белков больше образуется метана, а распад углеводов дает газ с высоким содержанием углекислоты. При анаэробной переработке из 1 кг субстрата образуется до 0,6 м³ биогаза (0,4 л жидкого топлива) и 0,1 кг ила.

Продолжительность сбраживания органических веществ в термофильных условиях меньше, чем в мезофильных, что позволяет сократить полезный объем метантенков. Кроме того, при термофильном процессе происходит более глубокое сбраживание органических веществ. Производительность метантенков, работающих в термофильном режиме, примерно вдвое выше, чем в мезофильном режиме.

Для увеличения выхода метана и интенсификации анаэробного брожения органических материалов необходимо устранять факторы, неблагоприятно

сказывающиеся на активности образующих метан бактерий. Так, например, скорость метаногенеза лимитируется наличием органических кислот. Для их устранения из среды используют полупроницаемые мембраны, пропускающие только низкомолекулярные соединения. Это повышает скорость метаногенеза и увеличивает выход метана. С целью повышения содержания в биогазе метана разработаны методы его очистки от примесей.

Использованию биогаза как альтернативного источника энергии уделяется большое внимание во многих странах. В Швеции в последнее десятилетие производят установки для получения биогаза из отходов животноводства [3]. Эти биореакторы нашли также применение в Испании, Дании и Голландии. Стандартная термофильная установка, позволяющая перерабатывать до 30 м³ сырья в сутки с получением 500 м³ биогаза, состоит из камеры емкостью от 20 до 100 м³ и газового бойлера или электрогенератора. Рабочая температура биореактора 45...60 °С. Биогаз, получаемый в установках этого типа, используется для обогрева ферм и получения горячей воды, обеспечивая 60% требуемой для фермы тепловой энергии. Загрузка отходов (навоз) производится один раз в день с последующей выдержкой в рабочей камере в течение 5 суток при периодическом перемешивании.

В большинстве европейских стран биотехнологическая переработка сельскохозяйственных отходов с получением топливного газа (метана) интенсивно развивается с конца 70-х годов. В Бельгии, например, работают более 50 установок, причем 22 из них расположены непосредственно на фермах. Введение бесподстильного содержания животных с применением решетчатых настилов, позволяет получать субстрат, идеальный для биометанизации. Часто ферментеры располагают под хлевом с таким расчетом, чтобы жидкий навоз попадал в него самотеком. Это позволяет также вести процесс при температуре окружающей среды [3].

Использованию биогаза как альтернативного источника энергии уделяется большое внимание в странах Азии и бассейна Тихого Океана. В настоящее время в Индии действует около 100 тысяч метантенков. Полагают, что дальнейшее развитие этой технологии получения биогаза позволит сократить использование электроэнергии на 44%, каменного угля на 15%, древесины на 79%.

Уже сейчас в Индии строят небольшие биореакторы объемом от 2 м³ и более в расчете на одну крестьянскую семью. Таких биореакторов «индивидуального» пользования уже сейчас в Индии насчитывается 80 тысяч. Предполагается довести их количество до 12 миллионов штук, чтобы обеспечить энергией 90 миллионов человек.

В Китае действует более 7 миллионов метантенков. Проведены интересные разработки в области биометанизации навоза крупного рогатого скота. Получено, что максимальная скорость образования метана ($6,1 \text{ м}^3$ метана на 1 м^3 биореактора в сутки) достигается при температуре $55 \text{ }^\circ\text{C}$, концентрации субстрата 100 кг/м^3 и времени ферментации четверо суток. Выход метана в этих условиях в расчете на 1 кг субстрата составляет $0,42 \text{ м}^3$.

Еще большей производительностью по метану обладают разработанные биореакторы, использующие магнитотаксисные бактерии. С этой целью в конструкции реактора предусмотрено создание внутреннего локального магнитного поля, привлекающего магнитотаксисные бактерии. Бактериальные производители биогаза мигрируют в область магнитного поля, концентрируются в определенной зоне биореактора и не вымываются из него при вводе свежих порций органических отходов и при удалении остатков.

Исследованиями установлено, что добавка целлюлозосодержащих материалов в процессе анаэробной ферментации навоза в биогаз повышает выход биогаза на $30\text{...}40\%$. При этом выход биогаза составляет $340\text{...}370 \text{ мл}$ на 1 г субстрата. Кроме целлюлозосодержащих материалов выход биогаза из отходов животноводства увеличивает добавка бытовых отходов, осадков городских отстойников, торфа. Так, при анаэробном сбраживании смеси, состоящей из 5 частей жидких отходов животноводства с содержанием $4,4\%$ органического вещества, 2-х частей городских отходов с 5% органического вещества, 1 части бытовых отходов с 21% органического вещества, получили $0,4 \text{ м}^3$ биогаза в расчете на 1 кг исходного вещества.

Перспективный метод непрерывной анаэробной биотехнологии переработки отходов животноводства в топливный биогаз разработан в Германии. В реакторе с помощью теплообменников поддерживается постоянная температура $32 \text{ }^\circ\text{C}$. Образовавшийся биогаз поступает из верхней части биореактора при избыточном давлении $300\text{...}500 \text{ Па}$ в газовый склад, где хранится при давлении $15 \cdot 10^5 \text{ Па}$. С помощью компрессора газ подается через промежуточную емкость (рессивер) к потребителю.

В России метановое брожение с целью получения топливного газа развито сравнительно слабо, хотя также попытки в небольших масштабах делались еще в 60-е годы. По некоторым оценкам [3] в нашей стране путем метанового сбраживания отходов животноводства, сельскохозяйственного производства, отходов переработки древесины и городских коммунально-бытовых отходов можно было бы получать до 100 млрд. м^3 метана в год, что составляет около 30% от его годовой добычи в настоящее время.

Биологическая переработка промышленных сточных вод в биогаз является еще одним источником получения высокоэнергетического газообразного

топлива (метана). Метановое сбраживание является наиболее экономичным и эффективным методом очистки сточных, позволяющим получить у нас в стране до 150 млрд. тонн условного топлива. При этом наиболее значительный вклад в эту цифру могут внести отходы спиртовой промышленности. В настоящее время эти отходы, в основном, в форме последрожжевой барды сбрасываются на поля фильтрации, площади которых могут составлять от 1 до 12 га. На полях фильтрации происходит анаэробное брожение барды, что приводит к загрязнению почвы, грунтовых вод, воздушной среды. Последнее обстоятельство, связанное загрязнением воздушного бассейна, приобретает все более острый характер в связи с тем, что выделяющийся свободный метан и углекислый газ способствуют возникновению парникового эффекта у поверхности земли и глобальному изменению климата [1].

Одним из более эффективных и чистых с экологической точки зрения способов использования последрожжевой барды является аэробная ее переработка в метантенках с получением топливного газа (метана). Если при аэробном процессе расходуется электрическая энергия на аэрацию, то при анаэробном получается горючий газ с теплотой сгорания, эквивалентной 500 кг топлива на каждую тонну уменьшения БПК (биологического потребления кислорода). При этом полученную в результате метановой ферментации биомассу уже можно использовать в качестве удобрения.

В Швеции разработан способ комбинированной анаэробно-аэробной переработки стоков бродильной и пищевой промышленности. Способ обеспечивает снижение БПК на 99,8% при исходном значении 3500 мг/л. Продолжительность брожения в анаэробной стадии от 2 до 15 суток в зависимости от характера стоков. При этом выход метана составляет 0,3...0,5 м³/кг органических отходов, разрушенных на анаэробной стадии.

В Германии отходы спиртовых заводов перерабатывают в анаэробных условиях в течение 10 суток. Получаемый газ содержит до 70% метана и используется как источник тепловой энергии на том же заводе путем сжигания под котельными агрегатами. Стоимость метана составляет при этом примерно 4 евро за $4,19 \cdot 10^6$ кДж и обеспечивает от 50 до 70% общего потребления энергии завода.

В России также есть разработки в этой сфере. Так, например, разработана аппаратурно-технологическая схема получения и использования биогаза из последрожжевой бражки цеха кормовых дрожжей. Экономия топлива за счет дополнительного сжигания под котлами биогаза составляет 13...15%.

Анаэробная очистка сточных вод может быть с успехом использована и для других отраслей пищевой промышленности, например, сахарных и крахмало-паточных предприятий. В этих случаях выработка биогаза может

составить в тепловом соотношении 300 л мазута на 1 т БПК. Попутно в процессе анаэробной переработки в сточных водах уничтожаются вредные бактерии, и решаются проблемы, связанные с неприятным запахом сточных вод.

Анаэробная промышленная переработка жидких отходов производства при консервировании плодов и овощей используется в Испании, Австралии для получения метана и последующего его использования как топлива. В Германии работает опытная установка по получению биогаза из сточных вод производительностью 20 м³ биогаза в сутки. При этом образовавшийся биогаз собирается в верхней части биореактора и через конденсатоотделитель поступает в сборник. Стоки покидают метантанк также в верхней части и подвергаются сепарации с целью отделения осадка. Обеззараженный осадок (ил) используют как кормовую добавку или в качестве удобрения.

Во многих странах мира широкое распространение получает биометанизация коммунально-бытовых отходов (свалок). Известно, что в среднем по числу жителей города ежегодно образуется более 100 тыс. тонн отходов, большую часть которых составляют органические отходы. В результате уплотнения мусора при высоте слоя в несколько метров создаются почти идеальные условия жизнедеятельности анаэробных метанообразующих бактерий, образующих в среднем около 200 м³ биогаза из 1 тонны бытовых отходов. Количество и качество топливного биогаза в процессе биометанизации коммунально-бытовых отходов зависят, в основном, от состава отходов и условий (главным образом глубины) захоронения. При неглубоком захоронении в зону ферментации просачивается воздух и подавляет анаэробное брожение.

Высота слоя отходов влияет на условия проникновения влаги (3%) и установление оптимальной температуры разогрева (35 °С) и величины рН в слое брожения. Регулируя эти параметры путем добавки необходимых компонентов, можно оптимизировать процесс биометанизации и проводить его непосредственно в местах захоронения коммунально-бытовых отходов.

Так, например, в Германии разработана вертикальная зондовая буровая система добычи биогаза из городских хранилищ мусора. В хранилище мусора на глубине 5 м устанавливают чашеобразные открытые танки с перфорацией стенок. Образующийся в процессе анаэробного брожения органических веществ газ собирает в этих перфорированных танках и оттуда по трубопроводам передают его в закрытые сборники газа. Таким путем получают до 800 м³ газа в час при концентрации метана в нем 55%. После фильтрации и сушки газ закачивают на тепловую электростанцию блочного типа, где находится в газомоторных генераторах, снабжающих ток городских

потребителей. Тепло воды, охлаждающей дизель генераторы, используют для отопления или в различных теплообменниках. Полученной тепловой энергии отбираемого биогаза, хватает для обогрева 300 многоквартирных домов.

Во Франции разработана установка по получению метана из органических бытовых отходов на промышленной основе. По этой технологии вначале подготавливают путем удаления металлических и стеклянных предметов, после чего мусор измельчают до частиц размером 50 мм. Измельченные отходы поступают в метантенк, где выдерживаются 10...20 суток. В процессе анаэробного брожения содержание сухих веществ в отходах снижается от 50...70% до 35...40%, причем биоразложение органики происходит на 50...60%. Из частично разложившегося продукта отпрессовывается 25...30% сухой массы. Отделенная при прессовании жидкость с 2...3% сухих веществ снова поступает в метантенк для увлажнения вновь поступающего мусора или используется как удобрение. Получаемый по этой технологии газ (60% метана и 40% углекислого газа) идет к потребителю в хранилище. Отпрессованный продукт измельчают, просеивают, очищают и высушивают. Полученный сухой осадок имеет высокую теплоту сгорания (12,6 МДж/кг) и используют для обогрева метантенка [4].

Наряду с изучением и внедрением в практику промышленных технологий, в основе которых лежит процесс биометанизации органических отходов с получением горючего газа метана, в последние годы уделяется внимание проблемам биотехнологического получения более калорийного и чистого в экологическом смысле топлива – водорода. Разработана перспективная технология получения водорода из воды путем электролиза. И наряду с ней ведутся работы в области биотехнологического получения водорода через анаэробное сбраживание или путем процесса, аналогичного фотосинтезу, в аэробных условиях. Путем анаэробной ферментации уже селекционированы новые виды микроорганизмов, способные производить водород вместо метана. В настоящее время за рубежом и у нас в стране ведутся исследования с целью обоснования биотехнологических путей получения водорода.

Результаты и обсуждение исследований

В настоящее время энергетические потребности мира составляют примерно 11...12 млрд. тонн условного топлива (у. т.) и удовлетворяются за счет нефти и газа на 55...60% [5]. Ресурсы ежегодно возобновляемой растительной биомассы энергетически в 25 раз превышают объемы добываемой нефти. Сейчас сжигаемая растительная биомасса составляет примерно 10% потребляемых энергоресурсов (примерно 1 млрд т у. т.), в будущем ожидается существенное расширение использования биомассы в виде продуктов ее

переработки (жидкого, твердого топлива и др.) и, в первую очередь, отходов, которые скапливаются и разлагаются, загрязняя окружающую среду.

Потребность в нефти и природном газе будет увеличиваться, и одновременно необходимо совершенствовать методы энергетического использования растительной биомассы (помимо ее прямого сжигания).

Заключение и выводы

Круг вопросов, к решению которых привлекают биотехнологические методы, и достижения, достаточно широк. Большинство из них прямо или косвенно связано с глобальными проблемами, стоящими перед современной цивилизацией, такими, как загрязнение окружающей среды, угроза экологического кризиса, истощение запасов полезных ископаемых, опасность мирового энергетического кризиса, нехватка продовольствия, борьба с болезнями.

Повышение цен на традиционные источники энергии (природный газ, нефть, уголь) и угроза их исчерпания побудили ученых обратиться к альтернативным путям получения энергии. Роль биотехнологии в создании экономичных возобновляемых энергетических источников (спиртов, биогенных углеводов, водорода) чрезвычайно велика. Эти экологически чистые виды топлива можно получать путем биоконверсии отходов промышленного и сельскохозяйственного производства. Перспективно продолжение исследований по усовершенствованию и внедрению процессов производства метана, этанола, созданию на основе микроорганизмов (и ферментов) элементов, эффективно производящих теплоту и электричество, а также по организации искусственного фотосинтеза, в частности, биофотоллиза воды, при котором можно получать богатые энергией водород и кислород.

Библиографический список

1. *Никитин, В.А.* Лекции по теплотехнике: конспект лекций. / В.А. Никитин. – Оренбург: ЛГУ, 2011. – 532 с.
2. *Федоренчик, А.С.* Биотопливо из древесного сырья. / А.С. Федоренчик, А.В. Ледницкий, Н.И. Кожухов, В.Д. Никишов. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2010. – 384 с.
3. *Панцхава, Е.С.* Биогазовые технологии. Проблемы экологии, энергетики, сельскохозяйственного производства / Е.С. Панцхава, М.Г. Беренгартен, С.И. Ванштейн. – М.: МГУИЭ, ЗАО Центр «ЭКОРОС», 2008. – 217 с.
4. *Егорова, Т.А., Клунова, С.М.* Основы биотехнологии. / Т.А. Егорова, С.М. Клунова. – М.: Академия, 2003 – 207 с.
5. *Передерий, С.* Метан из биомассы / С. Передерий, М. Яшин // ЛесПромИнформ. – 2010. – №8(74). – С. 164-167.

Сведения об авторах

ФИО

Иванова И.В.

Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9424-7866
e-mail	irenalta@mail.ru
ФИО	Тюляков В.Е.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3942-6089
e-mail	randyrkoorton2013@yandex.ru

Аннотация

Проведен анализ современных технологий получения дополнительных источников теплоты. Рассмотрены основные направления использования биотехнологического метода получения энергии.

Выводы. Круг вопросов, к решению которых привлекают биотехнологические методы, и достижения, достаточно широк. Большинство из них прямо или косвенно связано с глобальными проблемами, стоящими перед современной цивилизацией, такими, как загрязнение окружающей среды, угроза экологического кризиса, истощение запасов полезных ископаемых, опасность мирового энергетического кризиса, нехватка продовольствия, борьба с болезнями.

Перспективно продолжение исследований по усовершенствованию и внедрению процессов производства метана, этанола, созданию на основе микроорганизмов (и ферментов) элементов, эффективно производящих теплоту и электричество, а также по организации искусственного фотосинтеза, в частности, биофотолиза воды, при котором можно получать богатые энергией водород и кислород.

Ключевые слова: этанол; водород; биогаз, анаэробные бактерии; магнитотаксисные бактерии; ферментаторы; биореактор; биотехнологический метод; ethanol; hydrogen; biogas, anaerobic bacteria; magnetotaxis bacteria; fermenters; bioreactor; biotechnological method.

УДК 620.95

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 62.35.33

Оценка возможности по энергосбережению в двигателях

Алексеева Е.А., Кебко В.Д., Соколова В.А., Марков В.А., Родкин С.С.

Определение параметров для расчета проводится с частотно регулируемым двигателем (ПЧ-АД). Оценка возможностей по энергосбережению с помощью механической характеристики выбранного двигателя проводится путем сравнительной оценки двигателя RA132SB2 параметры в таблице 1 потребляемой из сети мощности двигателя с ниже тиристорным регулятором напряжения (ТРН-АД) и частотно регулируемым двигателем (ПЧ-АД) [1]. Рассчитаем и построим эту характеристику (рис. 1).

Таблица 1.

Механические характеристики двигателя RA132SB2

Тип двигателя	РН, кВт	n, об/мин	n, %	cos φ	I _н , А	k _i = I _п /I _н	m _г = M _п /M _н	m _{max} = M _{max} /M _н	J, кгм ²
RA132SB2	7,5	2890	89	0.89	15	7	2,5	3,2	0,0185

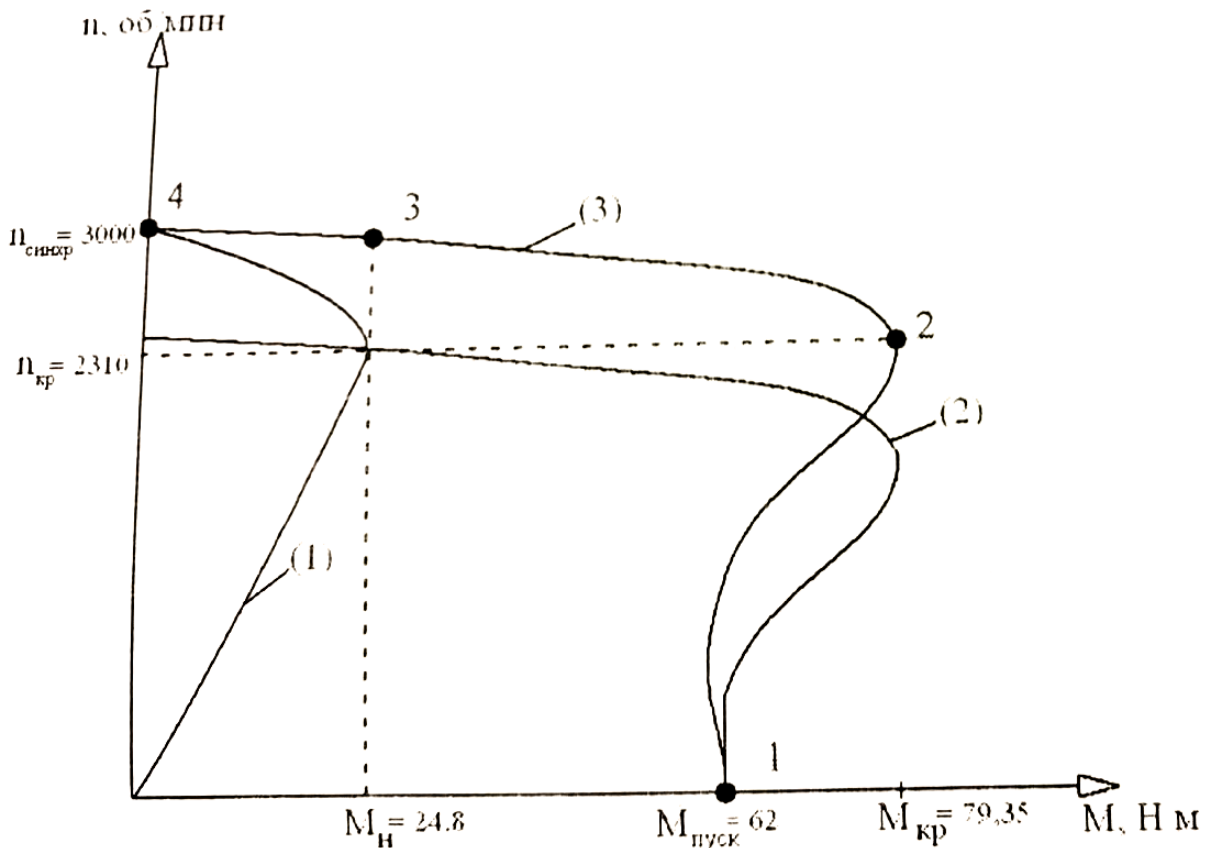


Рис. 1. Механические характеристики

(1) – ТРН-АД; (2) – ПЧ-АД; (3) – расчетная для двигателя без управления
 т. 1 – режим КЗ, координаты ($M = M_{\text{пуск}}$; $n = 0$); т. 2 – критический режим работы, координаты ($M = M_{\text{max}}$; $n = n_{\text{ед}}$); т. 3 – режим номинальной нагрузки, координаты ($M = M_{\text{н}}$; $n = n_{\text{н}}$); т. 4 – режим идеального ХХ, координаты ($M = 0$; $n = n_{\text{неiod}}$);

Для т. 1:

$$M_{i\text{ one}} = M_i * m_i = \frac{P_{iii}(A_o)}{\omega_{iii}} * m_i = \frac{7500}{302.48} * 2.5 \approx 621 * i$$

где $\omega_i = \frac{n_{iii}}{30} = \frac{3.14 * 2890}{30} = 302,48 \text{ рад/с}$ – угловая скорость ротора (ном.)

Для т.4:

В этой точке $M=0$, а следовательно:

$$n_1 = n_{\text{н\ddot{e}i\ddot{o}\delta}} \Rightarrow n_1 = \frac{60f_1}{p} = \frac{60 * 50}{1} = 3000 \text{ \ddot{a}/\ddot{e}}\ddot{i}$$

Для т.3:

$$M_i = \frac{P_{iii}(A\delta)}{\omega_{iii}} = \frac{7500}{302,48} = 24,8\hat{i} * i; \quad n_{ii} = 2890 \text{ \ddot{a}/\ddot{e}}\ddot{i};$$

Для т.2:

Найдем критический момент:

$$M_{\text{max}} = M_{ii} * m_{\text{max}} = 24.8 * 3.2 = 79.35\hat{i} * i$$

Формула для n_{max} : $n_{\text{max}} = n_{\text{e}\delta} = n_1 * (1 - S_{\text{e}\delta})$

Найдем $S_{\text{e}\delta}$:

$$S_{\text{e}\delta} = S_{iii} * (m_{\text{max}} + \sqrt{m_{\text{max}}^2 - 1}) = 0,037 * (3,2 + \sqrt{3.2^2 - 1}) = 0,23$$

где $S_{iii} = \frac{n_1 - n_{ii}}{n_1} = \frac{3000 - 2890}{3000} = 0.037$

Тогда искомая величина: $n_{\text{e}\delta} = n_1 * (1 - S_{\text{e}\delta}) = 3000 * (1 - 0.23) = 2310 \text{ \ddot{a}/\ddot{e}}\ddot{i}$

Теперь произведем расчет параметров активных и индуктивных сопротивлений ротора и статора на основании Г-образной схемы замещения (рис. 2):

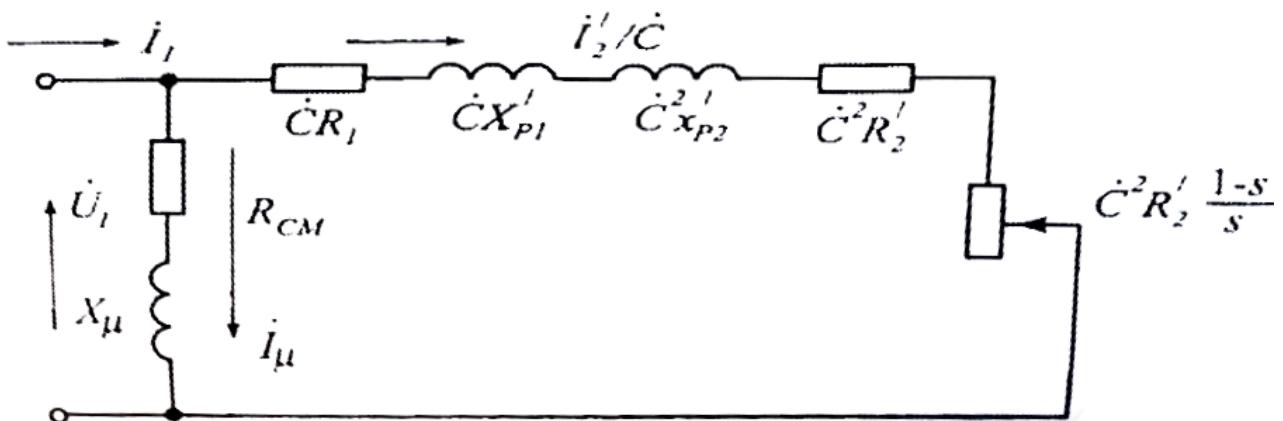


Рис. 2. Г-образная схема замещения

1) приведенное активное сопротивление ротора

$$R_r = \frac{1}{3} * \frac{(P_H + P_{\text{мех}})}{I_H^2 \frac{1 - 0,037}{0,037}} = 0,447\hat{i};$$

где P_i , I_i , S_i – номинальные мощность, ток, скольжение; I_{iao} – механические потери ($I_{\text{iao}} = (0,01 - 0,05) P_i$);

$$R_r = \frac{1}{3} * \frac{(7,5 + 0,02 * 7,5)}{15^2 \frac{1 - 0,027}{0,027}} = 0,447 \hat{\Omega}$$

2) активное сопротивление статора

$$R_s = \frac{U \cos \phi * (1 - n)}{I_n} - C^2 * R_r - \frac{P_{\text{мех}}}{3 I_H^2}$$

где U – фазное напряжение;

$$R_s = \frac{220 * 0,9 * (1 - 0,89)}{15} - 1,02^2 * 0,447 - \frac{0,02 * 7500}{3 * 15^2} = 0,764 \hat{\Omega};$$

3) приведенные индуктивность рассеяния ротора:

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{U}{4 \pi f_1 (1 + C^2) k I_H}$$

$$L_{sp} = L_{rp} = \frac{220}{4 * 3,14 * 50 (1 + 1,02^2) 7 * 15} = 0,0016 \hat{\text{Г}}\hat{\Omega}$$

4) индуктивность статора:

$$L_s = \frac{U}{2 \pi f_1 I_n (1 - (\cos \phi)^2) - \frac{2}{3} * \frac{2 \pi f_1 M_{\text{макс}} * S_n}{p U * S_{\text{кф}}}}$$

$$L_s = \frac{220}{2 * 3,14 * 50 * 15 * \sqrt{1 - 0,89^2} - \left(\frac{2}{3} * \frac{2 * 3,14 * 50 * 3,2 * 0,027}{220 * 0,22} \right)} = 0,1023$$

5) индуктивность контура намагничивания:

$$L_m = L_s - L_{sp} = 0,1023 - 0,0016 = 0,10069 \hat{\text{Г}}\hat{\Omega}$$

6) коэффициент приведения:

$$C_1 = 1 + \frac{0,0016}{0,10069} = 1,06 \approx 1,02$$

Диапазон изменения частоты вращения двигателя определяется и условий возможности регулирования тиристорным регулятором напряжения, при котором имеет место превышение максимального момента над моментом сопротивления ($M_{\text{кр}} \geq M_{\text{с}}$). При этом оценка потребляемой мощности осуществляется на частоте потребляемой мощности осуществляется на частоте вращения двигателя пед при соответствующих этой скорости параметров $S_{\text{ед}}$, $F_{\text{ед}}$. Для обеспечения работы двигателя на этой частоте необходимо уменьшить критический момент до момента сопротивления двигателя, а его мы выбрали равным номинальному. При этом оценка мощности, потребляемой из сети, будет проводиться без учета перегрева двигателя из-за потерь в роторе. Иными словами, для условий кратковременной работы двигателя. В этом случае можно считать, что рассчитанная мощность будет максимально возможной. Для обеспечения работы двигателя без перегрева потребуется двигатель большей мощности или большая потребляемая мощность. Оценка мощности для частотно регулируемого двигателя проводится для условий обеспечения требуемой перегрузочной способности. В этом случае можно считать, что

рассчитанное значение мощности будет являться максимально возможным. Для условий кратковременной работы двигателя потребуется меньшее значение мощности.

Библиографический список

1. Бухмиров В.В., Нурахов Н.Н., Косарев П.Г., Фролов В.В., Пророкова М.В. Методические рекомендации по оценке эффективности энергосберегающих мероприятий - Томск: ИД ТГУ, 2014. – 96 с.

Сведения об авторах

ФИО Алексеева Е.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8399-6121
e-mail olgakameneva@gmail.com

ФИО Кебко В.Д.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail olgakameneva@gmail.com

ФИО Соколова В.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5116-5102
e-mail sokolova_vika@inbox.ru

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

SPIN-код 1503-7932
e-mail mactor85@mail.ru

ФИО Родкин С.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail sir.rodkin2016@yandex.ru

Аннотация

В данной статье производится оценка возможностей по энергосбережению с помощью механической характеристики выбранного двигателя путем сравнительной оценки.

Ключевые слова: энергосбережение, двигатель, сравнительная оценка.

УДК 62-531.9

Разделы рубрикатора ГРНТИ 45.01.83

Пересчет нагрузок цеха с учетом преобразователя частоты главного привода станков

Кебко В.Д., Алексеева Е.А., Соколова В.А., Марков В.А., Родкин С.С.

Так как станочное устройство состоит из системы проводов и как правило, мощность главного привода намного больше мощности периферийных устройств, то введение преобразователей частоты именно для главных приводов или, для станка в целом, существенным образом повышает расчетный коэффициент мощности по сравнению с тем значением, что дает справочное пособие НИИ Тяжпромэлектропроект. [1]

Тогда с учетом преобразователей частоты номинальный $\cos\varphi_n$ остается постоянным для главного привода при всем диапазоне скоростей, а значит изменит расчетное значение $\cos\varphi$ Тяжпромэлектропроект, используемое для расчета нагрузок (Таблица 1). Расчет средневзвешенного арифметического $\cos\varphi$ всего устройства с учетом преобразователей частоты велся по следующей формуле:

$$X = \frac{\sum X_i \cdot f_i}{\sum f_i}$$

где X_i – величина, для которой исчисляется средняя, в нашем случае это $\cos\varphi$; f_i – частота или повторяемость индивидуальных значений (вес), в нашем случае

он высчитывался исходя из мощности главного привода и остальной периферийной мощности.

В нашем случае эта формула выглядит так:

$$\cos\varphi_{\text{н\ddot{d}}} = \frac{\cos\varphi_{\text{г\ddot{a}вн\ddot{e}}*p_1 + \cos\varphi_{\text{п\ddot{e}р\ddot{e}р\ddot{e}р\ddot{e}р\ddot{e}р\ddot{e}р}*p_2}{p_1 + p_2}$$

где $\cos\varphi_{\text{г\ddot{a}вн\ddot{e}}}$ – номинальный $\cos\varphi$ главного привода; $\cos\varphi_{\text{п\ddot{e}р\ddot{e}р\ddot{e}р\ddot{e}р\ddot{e}р\ddot{e}р}$ – статистические данные института Тяжпромэлектропроект, для всего устройства при тяжелом режиме работы; p_1 – статистический вес главного привода от всего станка; p_2 – статистический вес периферийных двигателей станка.

Таблица 1.

Величины		Станочные устройства							
Название		токарный	протяжной	Кран мостовой	фрезерный	Ан .- ме х М Э- 31	Ан .- ме х М Э- 31	Вентиля тор	вентиля тор
P _н , кВт		72,2	46	50	40	18,5	7,5	18,5	22
ΣP _н , кВт		55	45	45	25	18,5	7,5	18,5	22
Статистический вес	Главного привода	3	98	90	62,5	-	-	-	-
	Дополнительных приводов устройства	1	2	10	37,5	-	-	-	-
Cosφ, главного привода		0,79	0,85	0,8	0,75	0,85	0,83	0,85	0,85
Cosφ всего устройства по данным НИИ		0,65	0,65	0,5	0,65	0,5	0,5	0,85	0,85
Тяжпромэлектропроект средневзвешенный арифметический Cosφ всего устройства с учетом преобразователя частоты главного привода		0,76	0,85	0,77	0,71	0,85	0,83	0,85	0,85

Из таблицы пересчета нагрузок (табл. 1) видно, что введением преобразователя частоты для главного привода станков, мы добились на шинах низкого напряжения $\cos\varphi=0,79$

Библиографический список

1. Смирнов А.Г., Шалыгин А.А., Жохов Б.Д., Годгельф Л.Б. Пособие к «Указаниям по расчету электрических нагрузок» (вторая редакция), Всероссийский научно-исследовательский, проектно-конструкторский институт Тяжпромэлектропроект, Москва, 1993 г.

Сведения об авторах

- ФИО** Кебко В.Д.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail olgakameneva@gmail.com
- ФИО** Алексеева Е.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8399-6121
e-mail olgakameneva@gmail.com
- ФИО** Соколова В.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5116-5102
e-mail sokolova_vika@inbox.ru
- ФИО** Марков В.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 1503-7932
e-mail mactor85@mail.ru

ФИО Родкин С.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail sir.rodkin2016@yandex.ru

Аннотация

В статье приведены результаты исследований по введению преобразователя частоты для главного привода станков.

Ключевые слова: энергосбережение, двигатель, привод.

УДК 62-531.9

Разделы рубрикатора ГРНТИ 45.01.83

Расчет энергетических характеристик

Алексеева Е.А., Кебко В.Д., Соколова В.А., Марков В.А., Родкин С.С.

Для оценки энергопотребления в системе тиристорный регулятор напряжения – асинхронный двигатель (ТРН-АД) и преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД) используются следующие выражения [1]:

$$S = \frac{P}{v \cdot \cos \varphi}; \quad v = \frac{I_{c1}}{I_c}; \quad \cos \varphi = \frac{R_2 / S \cdot \delta}{\sqrt{\left(\frac{R_2}{S \cdot \delta}\right)^2 + [2\pi f (L_{\delta} + L_{\delta}')]^2}};$$

$$n = \eta_{\text{п}} \cdot \eta_{\text{д}}; \quad \eta_{\text{д}} = \frac{P_{\text{л}}}{P_1} = \frac{M_c \cdot \omega}{M_c \cdot \omega + \Delta P_{1\text{м}} + \Delta P_{2\text{м}} + \Delta P_{1\text{с}}}; \quad \eta_{\text{п}} = 1 - \frac{\Delta P_{\text{ix}}}{P_1 + \Delta P_{\text{ix}}};$$

где P и S – активная и полная мощность, потребляемая из сети переменного тока; P_1 – активная мощность, потребляемая двигателем от преобразователя; I_{c1} – действующий ток первой гармонии статора; I_c – действующий ток статора; V – коэффициент мощности гармоник тока; $\eta_{\text{п}}$ – коэффициент полезного действия (кпд) преобразователя частоты; n – КПД частотно регулируемого двигателя; $\eta_{\text{д}}$ – КПД двигателя; L_{δ}, L_{δ}' – индуктивность статора и ротора двигателя; R_2 – сопротивление ротора; M_c – момент сопротивлений двигателя; $\Delta P_{1\text{м}}, \Delta P_{2\text{м}}$ – потери меди соответственно в статоре и в роторе; $P_{1\text{с}}, P_{2\text{с}}$ – потери в стали статора и ротора; ΔP_{ix} – потери энергии в преобразователе.

В системе ТРН-АД

Оценим основные параметры энергопотребления: $\cos\varphi$ и η (кпд). Формула для кпд двигателя имеет вид.

$$\eta = \frac{M_c \cdot \omega_{\text{эд}}}{M_c \cdot \omega_{\text{эд}} + \Delta P_{1i} + \Delta P_{2i} + \Delta P_{1\text{н}}}$$

Основной вклад в мощность потерь вносят потери в меди ротора, которые зависят от величины скольжения:

$$\Delta P_{2i} = M_c \cdot S_{\text{эд}} \cdot \omega_0 = 24,8 \cdot 0,23 \cdot 231 = 1711,2 \text{ Вт}$$

Учитываются и потери меди в статоре:

$$\Delta P_{1i} = \Delta P_{1i\text{н}} = 3 \cdot I_{1\text{н}}^2 \cdot R_s = 3 \cdot 15^2 \cdot 0,764 = 515,7 \text{ Вт}$$

В формуле (1) также учтены потери в статоре, которые идут на обеспечение магнитной связи. Аналогичные потери в роторе малы и не учитываются:

$$\Delta P_{1\text{н}} = 0,2 \cdot \Delta P_{\text{а}} = 0,2 \cdot P_{\text{н}} \cdot \left(\frac{1}{0,89} - 1 \right) = 185,4 \text{ Вт}$$

Необходимо сказать, что в качестве момента сопротивления принимается номинальный момент двигателя $M_n = M_c$. Тогда кпд двигателя:

$$\eta = \frac{24,8 \cdot 231}{24,8 \cdot 231 + 515,7 + 1711,2 + 185,4} \approx 0,7$$

При рассматриваемом способе управления работ асинхронного двигателя при уменьшении развиваемого момента (возрастания угла α) сопряжена со значительным снижением коэффициента мощности, так как с ростом α увеличивается фазовый сдвиг первой гармоники тока φ и уменьшается $\cos\varphi$ на обмотках статора. Коэффициент мощности можно оценить:

$$\cos\varphi \approx \sqrt{\frac{M_c}{M_{\text{эд}}}} \approx \sqrt{\frac{1}{3,2}} = 0,6$$

Такое управление сопровождается ростом удельного веса высших гармоник тока (V), что вызывает дополнительные потери активной мощности и в целом ухудшает энергетические показатели двигателя. Принимаем $v=0,9$.

Можно также оценить мощность, потребляемую из сети асинхронного двигателя с тиристорным преобразователем напряжения:

$$S = \frac{M_c \cdot \omega_{\text{эд}}}{\eta \cdot v \cdot \cos\varphi}$$
$$S = \frac{24,8 \cdot 231}{0,7 \cdot 0,9 \cdot 0,6} \approx 17 \text{ кВт}$$

С учетом этого итоговый коэффициент мощности для двигателя: $\cos\varphi = \frac{P}{S} = \frac{7,5}{17} = 0,44$ – заниженное значение ввиду погрешности расчета.

В системе ПЧ-АД

Оценка энергетических характеристик для условий, когда для инвертирования напряжения и выпрямления используется преобразователи

частоты с ШИМ-модуляцией. Значение $\cos\phi$ на частоте f_{kr} практически не изменяется по сравнению со значениями $\cos\phi$ приведенными в паспортных данных, т.е. его можно принять равным $\cos\phi=0,89$. Значение КПД двигателя также можно принять равным $\eta=0,89$ из паспортных данных. Это возможно т.к. величина скольжения остается постоянной.

Выражение для оценки потребляемой полной мощности на частоте f_{kr} может быть записано в виде:

$$S = \frac{P_{III} \cdot \sqrt{\frac{I_n}{I_i} \cdot \frac{f_{e0}}{f_{II}}}}{\cos\phi \cdot \eta \cdot n_1}$$

где n_1 – КПД преобразователя частоты, им пренебрегаем;

$$S = \frac{P_{III} \cdot \sqrt{\frac{34,8}{24,8} \cdot \frac{36,78}{50}}}{0,89 \cdot 0,89 \cdot 1} = 6965 \text{ Вт}$$

Тогда итоговый $\cos\phi=0,8$.

Библиографический список

1. Соловьев В.А. Расчет характеристик трехфазного асинхронного двигателя: методические указания к самостоятельной работе студентов по дисциплинам «Электротехника и электроника», «Основы электропривода» / М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014 – 44 с.: ил.

Сведения об авторах

ФИО	Алексеева Е.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	olgakameneva@gmail.com
ФИО	Кебко В.Д.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	olgakameneva@gmail.com
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации	университет имени С.М. Кирова 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Марков В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1503-7932
e-mail	mactor85@mail.ru
ФИО	Родкин С.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sir.rodkin2016@yandex.ru

Аннотация

В данной статье ведется расчет энергетических характеристик для оценки энергопотребления системы.

Ключевые слова: энергетические характеристики, оценка энергопотребления, энергосбережение.

УДК 62-531.9

Разделы рубрикатора ГРНТИ 45.01.83

4. МАШИНОСТРОЕНИЕ

Использование математического моделирования при проектировании манипуляторов лесных машин

Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А.,
Пендриков Е.С., Баринаева П.А., Кривоногова А.С.

Введение

Математическое моделирование различных производственных процессов и механизмов в настоящее время является актуальной задачей в связи с необходимостью определения условий и параметров при которых будут достигнуты установленные критерии оптимальности. Манипуляторы роботов имеют, широкое применение, в том числе, используются в лесозаготовительной и деревообрабатывающей отраслях промышленности. В связи с этим целью работы являлась задача нахождения аналитических моделей динамики трехзвенного манипулятора робота, имеющего вращательную, поступательную и вращательную кинематические пары пятого класса. Все возможные кинематические схемы таких манипуляторов представлены на рисунке 1 (а,б,в).

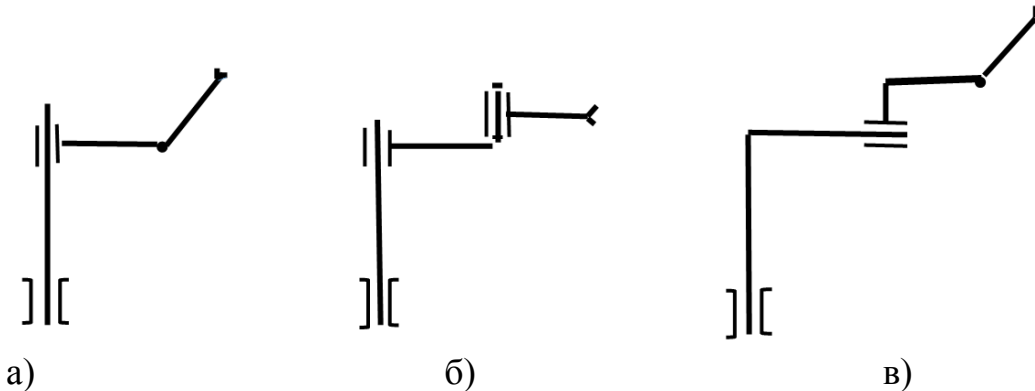


Рис. 1. Кинематические схемы манипуляторов с вращательными и вращательно-поступательными степенными подвижностями

Рассмотрим трехзвенный манипулятор, структурная кинематическая схема которого приведена на рис 1а. Будем решать задачу нахождения основных кинематических соотношений, определяющих положение, скорость и ускорение звеньев манипулятора и уравнений его динамики [2]. Все кинематические пары указанного манипулятора являются кинематическими парами пятого класса. Для однозначного определения его конфигурации необходимо ввести обобщенные координаты. Если предположить, что все звенья $i=1,2,3$ являются абсолютно твердыми телами, тогда в качестве обобщенных координат $q = (q_1, q_2, q_3)^T$ можно принять углы относительных

поворотов и линейного относительного смещения звеньев. Предположим, что манипулятор расположен на неподвижном основании, с которым свяжем ДПСК $O_0x_0y_0z_0$. С каждым звеном манипулятора свяжем ДПСК $O_ix_iy_iz_i$.

Выбор ДПСК, связанной со звеном i , выполним следующим образом:

Ось z_i направим по оси кинематической пары $(i, i+1)$

Ось x_i является общим перпендикуляром к осям $z_i z_{i-1}$.

Ось y_i выбирается таким образом, чтобы получаемая система координат была правой.

Со схватом манипулятора свяжем систему координат $O_3x_3y_3z_3$. Ось z_3 характеризует ориентацию оси захвата и направлена по оси последнего звена. Остальные оси выбираются по указанным выше правилам. Как известно [1], преобразование системы координат $O_{i-1}x_{i-1}y_{i-1}z_{i-1}$ в систему координат $O_ix_iz_i$ может быть осуществлено посредством следующих последовательно выполненных операций:

Поворот на угол Θ_i вокруг оси z_{i-1} до достижения параллельности осей x_{i-1} и x_i . Перенос на величину s_i вдоль оси z_{i-1} до тех пор, пока оси x_{i-1} и x_i не совместятся. Перенос на величину a_i вдоль оси x_{i-1} до совпадения начал координат O_i и O_{i-1} . Поворот на угол a_i относительно x_i до совмещения всех координатных осей. Преобразование системы координат $O_{i-1}x_{i-1}y_{i-1}z_{i-1}$ к $O_ix_iz_i$ определяется матрицей:

$$\begin{aligned}
 A_i &= A_{\theta_i} \square A_{s_i} \square A_{a_i} \square A_{a_i} \\
 &= \begin{bmatrix} \cos \theta_i & -\sin \theta_i \cos \theta_i & \sin a_i \sin \theta_i & a_i \cos \theta_i \\ \sin \theta_i & \cos \theta_i \cos a_i & -\cos \theta_i \sin a_i & a_i \sin \theta_i \\ 0 & \sin a_i & \cos a_i & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \\
 &= \left[\begin{array}{ccc|c} a(i) & & & r_i \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]
 \end{aligned}$$

Для рассматриваемого манипулятора указанные матрицы имеют вид:

$$A_1 = \begin{bmatrix} \cos q_1 & -\sin q_1 & 0 & 0 \\ \sin q_1 & \cos q_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc|c} & a(1) & & r_1 \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & l_2 \\ 0 & 1 & 0 & q_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc|c} & a(2) & & r_2 \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$A_3 = \begin{bmatrix} \cos q_3 & 0 & -\sin q_3 & l_3 \sin q_3 \\ \sin q_3 & 0 & \cos q_3 & l_3 \cos q_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc|c} & a(3) & & r_3 \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

Введем в рассмотрение систему координат $O_i^o x_i^o y_i^o z_i^o$, начало которой совпадает с центром масс звена i

$$A_{iu} = \left[\begin{array}{ccc|c} & a(i) & & r_{ic} \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

Векторы

$$r_{1c} = \left[0, 0, \frac{l_1}{2} \right]^T; r_{2c} = \left[0, \frac{l_2}{2}, q_2 \right]^T;$$

$$r_{3c} = \left[-\frac{l_3}{2} \sin q_3, \frac{l_3}{2} \cos q_3, 0 \right]^T$$

определяют положение центров масс звеньев в связанной со звеном системе координат. Положение центра масс звена i , и ориентация осей системы $O_i^o x_i^o y_i^o z_i^o$ в неподвижной системе координат будет определяться матрицами A_{0ic}

$$A_{01c} = A_{1c};$$

$$A_{02c} = A_1 \square A_{2c} = \begin{bmatrix} -\cos q_1 & 0 & \cos q_1 & -\frac{l_2}{2} \sin q_1 \\ -\sin q_1 & 0 & \sin q_1 & \frac{l_2}{2} \cos q_1 \\ 0 & 1 & 1 & q_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc|c} a(0,2) & & & r_{02c} \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

$$A_{03c} = A_1 \square A_2 \square A_{3c}$$

$$= \begin{bmatrix} -\sin q_1 \cos q_3 & -\cos q_1 & \sin q_1 \sin q_3 & -\frac{l_3}{2} \sin q_1 \sin q_3 - l_2 \sin q_1 \\ \cos q_1 \cos q_3 & -\sin q_1 & -\cos q_1 \sin q_3 & -\frac{l_3}{2} \cos q_1 \sin q_3 - l_2 \cos q_1 \\ \sin q_3 & 0 & \cos q_3 & \frac{l_3}{2} \cos q_3 - q_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \left[\begin{array}{ccc|c} a(0,3) & & & r_{03c} \\ - & - & - & - \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{array} \right]$$

Исходя из этого можно определить линейные скорости центров масс звеньев в неподвижной системе координат, связанной с основанием:

$$v_{01c} = \dot{r}_{01c} = [0, 0, 0]^T; v_{02c} = \dot{r}_{02c} = \left[-\frac{l_2}{2} \cos q_1 \dot{q}_1, -\frac{l_2}{2} \sin q_1 \dot{q}_1, \dot{q}_2 \right]^T$$

$$v_{03c} = \dot{r}_{03c} = \begin{bmatrix} -\frac{l_3}{2} \cos q_1 \sin q_3 \dot{q}_1 + \frac{l_3}{2} \sin q_1 \cos q_3 \dot{q}_3 - l_2 \cos q_1 \dot{q}_1 \\ -\frac{l_3}{2} \sin q_1 \sin q_3 \dot{q}_1 + \frac{l_3}{2} \cos q_1 \cos q_3 \dot{q}_3 - l_2 \sin q_1 \dot{q}_1 \\ -\frac{l_3}{2} \sin q_3 \dot{q}_3 + \dot{q}_2 \end{bmatrix}$$

Для определения проекций вектора угловой скорости звена i на оси связанной с ним системы координат можно воспользоваться формулами [1]

$$w_{ix} = a_{13}(o, i) \dot{a}_{12}(0, i) + a_{23}(0, i) \dot{a}_{22}(0, i) + a_{33}(0, i) \dot{a}_{32}(0, i)$$

$$w_{iy} = a_{11}(o, i) \dot{a}_{31}(0, i) + a_{21}(0, i) \dot{a}_{23}(0, i) + a_{31}(0, i) \dot{a}_{33}(0, i)$$

$$w_{iz} = a_{12}(o, i) \dot{a}_{11}(0, i) + a_{22}(0, i) \dot{a}_{21}(0, i) + a_{32}(0, i) \dot{a}_{31}(0, i)$$

Имеем,

$$w_{1x} = 0; w_{1y} = 0; w_{1z} = \dot{q}_1;$$

$$w_{2x} = 0; w_{2y} = \dot{q}_1; w_{2z} = 0;$$

$$w_{3x} = \sin q_3 \square \dot{q}_1; w_{3y} = -\dot{q}_3; w_{3z} = \cos q_3 \dot{q}_1;$$

Вычислив производные находим составляющие вектора углового ускорения

$$\varepsilon_1 = [0, 0, \ddot{q}_1]^T; \varepsilon_2 = [0, \ddot{q}_1, 0]^T$$

$$\varepsilon_3 = \begin{bmatrix} \ddot{q}_1 \sin q_3 + \dot{q}_1 \dot{q}_3 \cos q_3 \\ -\ddot{q}_3 \\ \ddot{q}_1 \cos q_3 - \dot{q}_1 \dot{q}_3 \sin q_3 \end{bmatrix}$$

Заключение

Полученные кинематические соотношения позволяют перейти к нахождению уравнений динамики, которые характеризуют связь положения, скорости и ускорения звеньев с управляющими и возмущающими силами и моментами, что в свою очередь способствует грамотному и более точному проектированию необходимого манипулятора. При проектировании манипулятора с учетом представленных зависимостей появляется возможность определить все его основные параметры по критериям применимости к проведению определенных работ на лесозаготовительном или лесоперерабатывающем предприятии.

Библиографический список

1. Робототехника и гибкие автоматизированные производства. //Под. Ред. И.М. Макарова. -М. : Высшая школа,1986г.
2. Вукобратович М., Стокич В., Управление манипуляционными роботами. М.: Наука,1985.

Сведения об авторах

ФИО	Алексеева С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	rum222@mail.ru
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Марков В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1503-7932
e-mail	mactor85@mail.ru

ФИО	Пендриков Е.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	pendrikov_86@mail.ru
ФИО	Барина П.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	full_moonpg@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com

Аннотация

Определение параметров и условий при которых, при работе манипуляторов роботов, могут быть достигнуты поставленные критерии оптимальности является актуальной задачей. В связи с этим возникает задача математического моделирования исполнительской системы манипуляционного робота. В статье рассматриваются манипуляторы, имеющие вращательную, поступательную и вращательно-поступательную схемы. Приведены три возможные кинематические схемы для таких манипуляторов. На примере одной из схем проведен расчет кинематических параметров.

Ключевые слова: манипуляторы, кинематика, лесозаготовительное предприятие, критерии применимости.

УДК 630

Разделы рубрикатора ГРНТИ 27.35.33

PLM-системы в задачах информационного обеспечения жизненного цикла

Пегов В.Ю., Трофимов А.В.

Введение

Структура жизненного цикла продукции машиностроения включает известный перечень этапов: проектирование, подготовка производства, производство, эксплуатация и утилизация (стандарт ISO 9004-1). На каждом этапе идёт постоянный процесс совершенствования всех элементов системы с целью повышения как его эффективности, так и цикла в целом.

На определённом уровне технологического развития к решению этой задачи были подключены мощности вычислительной техники. Широкое применение получили системы автоматизации инженерного труда (СА), представленные на рис.1.

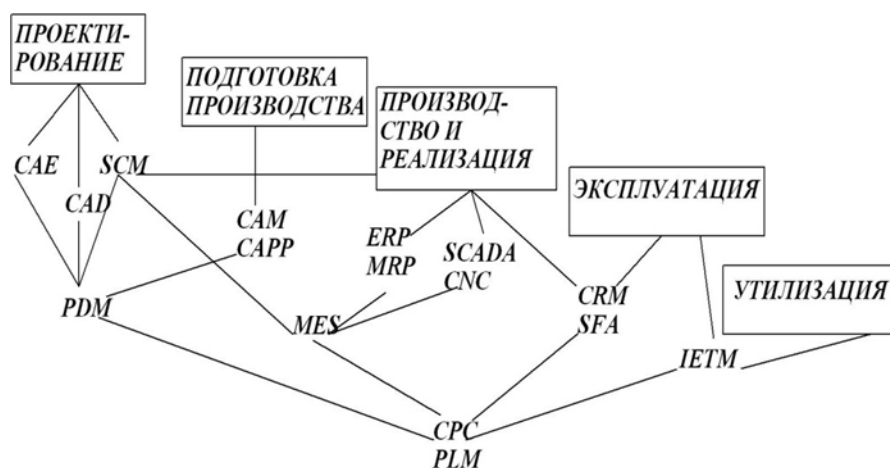


Рис. 1. Этапы жизненного цикла промышленных изделий и системы автоматизации инженерного труда

Задачу повышения эффективности в целом для цикла решает концепция PLM-систем (Product Lifecycle Management) за счёт создания единого информационного пространства для всех, кто имел, имеет или будет иметь отношение к изделию в течение всего его жизненного цикла. В качестве PLM-систем рассматривается не один программный продукт, а совокупность интегрированного в систему программного обеспечения всех этапов цикла.

Интеграция обеспечивается за счет автоматизированных систем со своим лингвистическим, информационным, программным, математическим, методическим, техническим и организационным ядром [2]. PLM-системы, ввиду интеграции с системами PDM, ERP и CRM, являются инструментом менеджеров верхнего уровня управления, предоставляя информацию участникам в соответствии с уровнем доступа [1].

Использование информации об эффективности каждого этапа в режиме реального времени позволяет оперативно управлять результатом применения продукта на рынке, что повышает его конкурентоспособность.

Связь участников проекта, в рамках «виртуального» предприятия, может осуществляться в трех основных вариантах.

Первый, основан на средствах электронной почты. Технические задания, чертежи и проекты, последовательно передаются в среде Internet. Конфиденциальность информации обеспечивается паролем, встроенным в процедуру защиты.

Для обмена данными по второму варианту, участники проекта могут в режиме реального времени одновременно редактировать материал с помощью технологии удалённого доступа. В процессе взаимодействия возможен обмен речевой информацией по мультимедийным каналам, включая видеоинформацию.

Третий вариант, предусматривает обмен информацией через сайт со специализированными средствами поддержки. Сайты участников проекта создаются по всему миру и объединяются в единую структуру – универсальный горизонтальный портал.

Актуальность применения PLM-систем вызвана следующими причинами.

Возможность индивидуализации выпуска продукции под заказы конкретных потребителей (кастомизация), внося незначительные изменения в имеющуюся номенклатуру.

Развитие кооперации предприятий–производителей. По данным программы фундаментальных исследований НИУ ВШЭ за 2014-2015 гг. к кооперации с поставщиками услуг прибегают порядка 33% предприятий обрабатывающей промышленности, а с предприятиями-смежниками – около 38% [4]. Очевидно, что тенденция будет лишь усиливаться с каждым годом.

Возможность организации распределенных коллективов в одной компании. В процессе создания нового продукта для выхода на рынок участвуют все, даже напрямую не связанные между собой, структурные подразделения. Это способствует повышению управляемости и прозрачности работы предприятия.

Возможность отслеживать в режиме реального времени эффективность всех этапов жизненного цикла изделия.

Пример успешного внедрения представлен российской компанией ОАО «Авиадвигатель» [6] - ведущим КБ, разрабатывающим двигатели для гражданской и военной авиации, промышленные газотурбинные установки и электростанции. Согласно обзору возможностей интеграции программных продуктов, компании удалось снизить время на подготовку производства с 9 до

4 месяцев, запустить разработку новых изделий, а главное – добиться полного электронного представления всего производства.

Другие возможности системы показаны в виде универсальной архитектуры, представленной на рис. 2. Структура настраивается в соответствии с конкретными требованиями отраслей и предприятий [5].

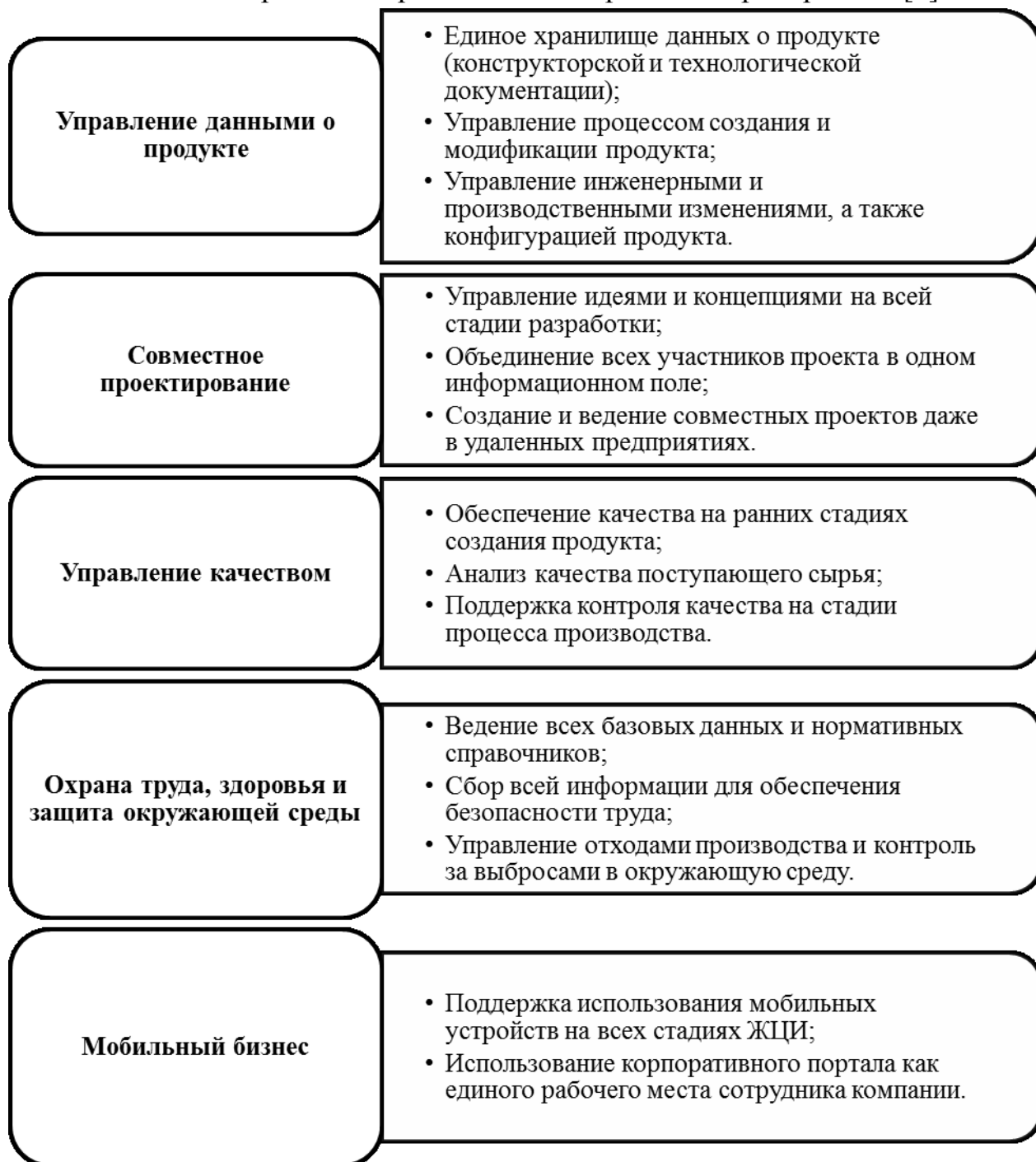


Рис. 2. Схема возможностей PLM-систем

Программные компоненты PLM-систем разделяют на две группы [2].

Компоненты для создания и преобразования информации об изделиях, производственной среде и производственных процессах (CAD, CAM, CAE, ERP, MRP системы и др.);

Программные продукты, предоставляющие возможности управления проектами, потоками заданий при создании технической документации, данными об изделии (PDM системы), а также функционального моделирования и анализа бизнес-процессов.

Примеры программных продуктов, имеющих неограниченную архитектуру (включают элементы первой и второй группы), приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Примеры PLM-систем

Производитель	Наименование продукта
Oracle (США)	Agile PLM
Autodesk (США)	Vault
SAP (Германия)	SAP PLM
Siemens (Германия)	Teamcenter
PTC (США)	Windchill
Dassault Systemes (Франция)	Enovia
Arena Solutions (США)	Omnify Empower PLM

Рынок предложений и услуг рассматриваемой области в России развивается медленно вследствие ряда причин:

- недостаточная компьютеризация хозяйственной, производственной и коммерческой деятельности;
- недостаточная численность квалифицированных специалистов;
- достаточно высокая стоимость современных автоматизированных систем поддержки ЖЦ изделий;
- отсутствие отечественной нормативной базы, позволяющей перейти от традиционных процессов, основанных на бумажном документообороте, к методам электронного взаимодействия и обмена данными;
- существенные отличия общероссийских и отраслевых стандартов от мировых;
- слабое понимание преимуществ, достигаемых применением PLM-систем.

Заключение

Машиностроительная индустрия переживает серьезные изменения, которые связаны с появлением технологий информационной поддержки

изделий, позволяющих кардинальным образом сократить время создания и вывода на рынок новых изделий, улучшить их качество и обеспечить послепродажное сопровождение.

В ряде работ отмечается тенденция отставания России от уровня промышленно развитых стран мира и роста потерь от упущенных контрактов, что чревато сокращением экспортного потенциала наукоемкой продукции.

Эффект использования PLM-систем значительно возрастает при одном условии – компетентность специалистов, пользующихся продуктом. Система не заменяет специалиста, а повышает эффективность его работы. Некомпетентный специалист, имея в руках столь мощный инструмент, способен внести в систему ошибку, которая, как снежный ком, приведёт к цепочке ошибочных решений.

Библиографический список

1. Муленко В.В. Компьютерные технологии и автоматизированные системы в машиностроении : учеб. пособие – М.: Изд-во РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2015. – 73 с.
2. Морозов В.В., Костерин А.Б., Стрелков П.В., Фомин А.В. Основы технологий информационной поддержки изделий машиностроения : учеб. пособие / В.В. Морозов [и др.]; Владим. гос. ун-т. – Владимир : Изд-во Владим. гос. ун-та, 2009. – 252 с.
3. Яблочников Е.И., Фомина Ю.А., Саломатина А.А. Компьютерные технологии в жизненном цикле изделия : учеб. пособие – СПб : СПбГУ ИТМО, 2010. – 180 с.
4. Кузнецова Е.П. Развитие производственной кооперации в России // Россия: тенденции и перспективы развития. 2018. №13-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/razvitie-proizvodstvennoy-kooperatsii-v-gossii> (дата обращения: 26.01.2020).
5. Железнякова М.С. Концепция PLM - Управление жизненным циклом продукта // Приволжский научный вестник. 2015. №11 (51). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/kontseptsiya-plm-upravlenie-zhiznennym-tsiklom-produkta> (дата обращения: 26.01.2020).
6. «Сименс» в России - Русский | Russia | Siemens: [сайт]. URL: <https://new.siemens.com/ru/ru.html>

Сведения об авторах

ФИО	Пегов В.Ю.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2769-3819
e-mail	vladimir.pegov95@yandex.ru
ФИО	Трофимов А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код отсутствует
e-mail agregat9@yandex.ru

Аннотация

В настоящей статье проведен обзор и описание PLM-систем в машиностроительной индустрии. Рассмотрены возможности таких систем применительно к задачам информационной поддержки жизненного цикла выпускаемой продукции. Представлены примеры таких систем и их производители, а также сделан ряд предположений о медленном развитии PLM-технологий в российской промышленности.

Ключевые слова: информационная поддержка, жизненный цикл, PLM-системы, машиностроительная индустрия.

УДК 62-05

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.01.11

Исходные положения при планировании многофакторного эксперимента

**Захаров В.А., Михайлов О.А., Тарадин Г.С.,
Козьмин С.Ф., Затенко С.И., Тарабан М.В.**

Введение

Постановка эксперимента и анализ полученных результатов являются одними из важнейших этапов научных исследований. Первыми минимизировать затраты на эксперимент и обработку полученных результатов попробовали исследователи работающие в области химии и химической технологии [1,2]. Это дало хорошие результаты и предложенный подход получил развитие и в других отраслях науки и техники.

Столь модное, в свое время, явление не обошло стороной и лесозаготовительную отрасль. Но, слепой перенос опыта, накопленного “химиками” при исследовании и испытании приводил только к усложнению проведения этих работ.

В данной статье мы покажем исходные положения необходимые при планировании многофакторного эксперимента при экспериментальном исследовании трелевочных тракторов.

При изучении режимов работы трелевочного трактора рассматриваются связи между различными характеристиками моторно-трансмиссионной установки, условиями эксплуатации и различными параметрами оптимизации [3,4]. Аналитически эта зависимость представляется в виде функции отклика

$$\eta = \varphi(x), \quad (1)$$

где независимая переменная

$$x = (x_1, \dots, x_k), \quad (2)$$

зависит от K факторов. Точки (2) образуют факторное пространство K измерений. Структура функции отклика определяет название модели наблюдений.

Матрица X размеров $n \times k$,

$$x = \begin{pmatrix} x_{11} & \dots & x_{1k} \\ \dots & \dots & \dots \\ x_{n1} & \dots & x_{nk} \end{pmatrix}, \quad (3)$$

строки которой составлены из координат точек факторного пространства

$$x^i = (x_{i1}, \dots, x_{ik}) (i = 1 \dots n), \quad (4)$$

где измеряются функции отклика (1), называется матрицей плана эксперимента. Обоснованный выбор плана эксперимента, реализация этого плана и анализ полученных результатов, являются основными задачами планирования эксперимента.

Вектор $y = \begin{pmatrix} y_1 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}, \quad (5)$

называется вектором наблюдений, если его координаты **есть** результат в точке (4) факторного пространства, то есть

$$\varphi(x^i) \approx y_i \quad (i = 1, \dots, n)$$

Независимо от того как выбирается матрица плана (3), параметры функций отклика определяются с помощью метода наименьших квадратов.

Выберем математическую модель. Наиболее простая модель наблюдения (линейная модель) имеет функцию отклика вида

$$\eta = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \dots + \beta_k x_k, \quad (6)$$

где β_0 – свободный член, $\beta_1 \dots \beta_k$ – образуют вектор параметров (коэффициентов регрессии) модели. Эта модель является исходной при исследовании трелевочных тракторов. Уточнение линейной модели осуществляется с помощью квадратичной модели, функция отклика которой в K – мерном пространстве имеет вид:

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_j x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 \quad (7)$$

Квадратичная модель вида (7) может оказаться слишком общей и обычно это означает, что на функцию отклика помимо линейных эффектов влияют лишь эффекты взаимодействия факторов, и здесь можно ограничиться частным случаем квадратичной модели

$$\eta = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_j x_i + \sum_{1 \leq i \leq j \leq k} \beta_{ij} x_i x_j \quad (8)$$

Замена функции отклика (7) на функцию отклика (8) приводит к существенному уменьшению объёма вычислений. Количество параметров для линейной модели $p=k+1$, для квадратичной модели (7)

$$p = \frac{k^3 + 3k + 2}{2}$$

и для модели (8)

$$p = \frac{k^2 + k + 2}{2}$$

Отметим, что в окончательном результате обычно присутствует меньшее количество параметров, так как некоторые из них оказываются статистически незначимы [4,5].

Заключение.

В данной работе показаны только исходные положения при планировании многофакторного эксперимента. В дальнейших статьях будут определены особенности планирования эксперимента в исследованиях лесозаготовительных тракторов, приведена статистическая оценка результатов эксперимента и представлены конкретные регрессионные уравнения.

Библиографический список

1. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. – М.: Наука, 1976. – 279с.
2. Асатурян В.И. Теория планирования эксперимента. – М.: Радио и связь, 1983, 273с.
3. Михайлов О.А. Особенности планирования эксперимента в исследованиях тракторов в исследованиях трелевочных тракторов./ Интенсификация лесозаготовительных и лесохозяйственных производств: Межвуз. сб. науч. тр.-л. : ЛТА, 1989. – с 87-90
4. Михайлов О.А. Улучшение тягово-скоростных свойств трелевочного трактора и снижение энергоёмкости трелевки путем увеличения приспособляемости дизеля. Дисс. на соиск. уч. Степени канд. Техн. Наук, Л.: ЛТА, 1986. – 198с.
5. Саутин С.Н. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. –Л.: Химия, 1975. –48с
6. Федоров В.В. Теория планирования эксперимента. –М.: Наука, 1971. –321с.

Сведения об авторах

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

SPIN-код	отсутствует
e-mail	Vovaz19982@gmail.ru
ФИО	Михайлов О.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4681 – 4898
e-mail	kerro07@mail.ru
ФИО	Тарадин Г.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5247-6595
e-mail	grisha190@mail.ru
ФИО	Козьмин С.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6778-0352
e-mail	cozminsf@yandex.ru
ФИО	Затенко С.И.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9240-0717
e-mail	s_lana2004@mail.ru
ФИО	Тарабан М.В.
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 данной статье рассмотрены особенности планирования эксперимента при испытаниях трелевочных тракторов и использование матричного аппарата при статистическом анализе результатов.

Ключевые слова: математическое планирование эксперимента, функция отклика, варианты оптимизации, факторное пространство, анализ результатов, статистические оценки, матричная алгебра.

УДК 631.3-1/-9

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.01.77; 55.42.03; 55.57.29; 68.01.77; 68.29.15.

Управление техническими мышцами в машинах и оборудовании лесного комплекса

Кизилев А.Б., Котков П.М.

Введение

Развитие средств автоматизации в последние десятилетия привело к разработкам приводов новых типов и применению их в лесной промышленности [1]. В частности, в ряде развитых стран активизировалось создание мускульно-подобных устройств, к которым следует отнести и волоконно-сорбционные технические мышцы (ТМ).

Данная мышца представляет собой гибкую полую трубку с наполнителем, которая под воздействием электрического тока сокращается. Ей присущи следующие свойства:

1. Высокая удельная силовая характеристика;
2. Конструктивная простота;
3. Низкая себестоимость и материалоемкость;
4. Устойчивость к агрессивности внешней среды;
5. Простота включения в аппаратную конструкцию без применения сложных редуцирующих и передаточных устройств;
6. Бесшумность и отсутствие генерации радиопомех;
7. Использование единого энергоносителя – электрического тока, что исключает использование компрессоров, гидростанций, дорогостоящей распределительной и регулирующей аппаратуры;
8. Простота в эксплуатации и замене, не требующей специальных навыков работы.

Цели и задачи

Целью исследования является разработка принципов управления техническими мышцами, обеспечивающих отработку требуемых силовых характеристик привода. Представляется перспективной задача частичной замены электромагнитов, гидравлических и пневматических приводов, на электроуправляемые волоконно-сорбционные технические мышцы.

Методика исследования

Исследования базируются на изучении физических процессов, протекающих в процессе работы технических мышц.

Результаты исследования и выводы

Для выполнения своих функциональных обязанностей технической мышце в первую очередь требуется отработка заданного усилия требуется развиваемая мышцей сила P_m соответствовала заданной силе $P_{м.з.}$. Изменим объект управления, добавив к приводному устройству регулятор, изменяющий напряжение электропитания по правилу:

$$U = U_k + r_p (P_{н.з.} - P_n) \quad (1)$$

где r_p – коэффициент пропорциональности; U_k – конечный уровень напряжения.

Заметим, что поддержания усилия на заданном уровне приводит к переходу мышцы в крайне сжатое состояние при $P_{м.з.} \geq P$, либо к сохранению исходной позиции при $P_{м.з.} \leq P$. В дальнейшем будем рассматривать только первую ситуацию, как представляющую больший практический интерес. Итак, мышца перешла в состояние с наименьшей длиной и наибольшим внутренним объёмом. Вся подводимая к мышце энергия рассеивается в окружающее пространство посредством конвекции и излучения. Соответствующий баланс мощности записывается в виде:

$$\frac{U_k^2}{R} = N_l + N_k \quad (2)$$

Заданная сила связана с внутренним давлением q :

$$P_{н.з.} = (1 - 2l_k^{-2} \text{ctg} \alpha_0)(q - q_y) \quad (3)$$

Давление q_y , компенсирующее упругую силу эластомерной оболочки, для минимальной приведённой длины l_k составляет:

$$q_y = \frac{E}{2(r_{1k}^2 \bar{l}_k - r_{10}^2)} ((r_{20}^2 - r_{10}^2)(\bar{l}_k - 1)^2 + 2h_0 r_{10} (\bar{r}_k - 1)^2 + 2r_{10} (\bar{h}_k - 1)^2) \quad (4)$$

Конечные значения геометрических параметров:

$$\bar{l}_k = \frac{1}{\sqrt{3 + \cos \alpha_0}} \quad (5)$$

$$\bar{r}_k = \frac{\sqrt{1 - \bar{l}_k^2 \cos^2 \alpha_0}}{\sin \alpha_0} \quad (6)$$

$$\bar{h}_k = \frac{\sin \alpha_0}{\bar{l}_k - \sqrt{1 - \bar{l}_k^2 \cos^2 \alpha_0}} \quad (7)$$

$$r_{1к} = r_{20} \bar{r}_к - h_0 \bar{h}_к \quad (8)$$

Давление во внутренней полости q является избыточным и отличается от абсолютного давления q_a на величину внешней среды q_c :

$$q_a = q + q_c \quad (9)$$

В свою очередь, q_a связано с объёмом адсорбтива $V_{\text{сик}}$ и температурой мышцы $T_{\text{м.к}}$ уравнением Ван-дер-Ваальса, описывающем состояние реальных газов [2]:

$$\left(q_a + z^2 \frac{a}{V_{\text{сик}}^2}\right)(V_{\text{сик}} - zb) = z R_f T_{\text{м.к}} \quad (10)$$

где z – количество молей адсорбата; R_f – универсальная газовая постоянная; a – коэффициент Ван-дер-Ваальса, зависящий от природы газа; b – поправка Ван-дер-Ваальса на собственный объём молекул.

Объём адсорбтива в конечном состоянии мышцы:

$$V_{\text{сик}} = \pi l_0 (r_{1к}^2 \bar{l}_к - r_{10}^2) \quad (11)$$

Количество молей адсорбтива:

$$z = \frac{m_{\text{сик}}}{\mu_{\text{си}}} \quad (12)$$

Масса адсорбтива $m_{\text{сик}}$ в данном состоянии мышцы определяется её температурой:

$$m_{\text{сик}} = m_{\text{сид}} (1 - l^{\nu(T_{\text{м.к.}} - T_c)}) + m_{\text{сип}} \quad (13)$$

Мощности конвекционного N_k и лучевого N_l теплообменов с внешней средой можно рассчитать по формулам:

$$N_k = \frac{2 l_0 \bar{l}_к (T_{\text{м.к.}} - T_c)}{\frac{1}{\lambda_3} L n \frac{r_{10} \bar{r}_к}{r_{1к}} + \frac{1}{\lambda_3} \frac{r_{2к}}{r_{10} \bar{r}_к} + \frac{1}{\alpha_T r_{2к}}} \quad (14)$$

$$N_l = 10^{-8} \delta_l \varepsilon_n r_3 \times 2 \pi (l_0 \bar{l} + l_3 + r_{3к}) (T_{\text{м.к.}}^4 - T_c^4) \quad (15)$$

Уравнение (1) – (15) образуют систему, описывающую установившиеся равновесное состояние мышцы. Решение данной системы при помощи средств вычислительной техники ставит в соответствие заданному уровню развиваемого усилия $P_{\text{м.з}}$, температуру мышцы $T_{\text{м.к}}$ и напряжение U_k . Результаты расчётов показывают, что задаваемая величина, развиваемая мышцей усилия не должна превышать 50 Н, т.к. это исключает превышение температурой мышцы своего допустимого значения 400 К.

Значение коэффициента r_p в уравнении (1) определяется допустимой величиной напряжения питания $[U]$ и заданной силой мышцы $P_{\text{м.з}}$ из следующих соображений. Увеличение данного коэффициента приводит к ускорению отработки мышцей заданного уровня усилия. Однако, напряжение не должно превышать допустимого. Из уравнения (1) видно, что наибольшее

значение напряжения питания соответствует начальному моменту процесса, $P_{м.} = 0$. Следовательно, максимальное значение r_p составит:

$$r_p = \frac{|U| - U_k}{P_{м.з.}}$$

Напряжение U_k определяется по заданному усилию $P_{м.з}$ непосредственным решением системы уравнений (1) – (15). Расчёты показали, что для исследуемой технической мышцы $U_k = 24$ В.

Заключение

Проведённые исследования позволяют осуществить управление техническими мышцами, обеспечивающее эффективную отработку требуемых силовых параметров в приводных устройствах машин и оборудования лесного комплекса.

Библиографический список

1. 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. Справочник по физике для инженеров и студентов вузов / Б.М. Яворский, А.А. Детлаф, А.К. Лебедев. - М.: Оникс 21 век, 2008. - 1056 с.

Сведения об авторах

ФИО	Кизилов А.Б.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8407-7024
e-mail	andreykiz@yandex.ru
ФИО	Котков П.М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1049-4968
e-mail	Pkotkov007@mail.ru

Аннотация

Технические мышцы во многих случаях могут заменить гидравлический и пневматический привод в машинах и оборудовании лесного комплекса.

Управление силовыми параметрами технических мышц потребовало проведения исследований.

Ключевые слова: техническая мышца, лесной комплекс, привод.

УДК 621.865:669.018.2

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.30.29

Анализ замкнутой исполнительной системы управления трехзвенным манипулятором методом точечных отображений

Алексеева С.В., Соколова В.А., Марков В.А., Иванов А.М.

Введение

Задачи анализа и синтеза систем управления имеют особую важность в связи с серьезностью требований, предъявляемых к эксплуатационным характеристикам исполнительных систем управления манипулятором. В частности, ставится задача отработки заданных периодических движений, которые могут быть организованы как вынужденные периодические движения.

Рассмотрим исполнительную систему управления трехзвенным манипуляционным роботом, динамические свойства которой в общем виде могут быть описаны системой уравнений [1]:

$$\begin{aligned} A(q)p^2(q) + b(q, pq) + c(q) + b_1 &= M_{дв} \\ M_{дв} &= W_u(p)u - I_p p^2 q, u = W_1(p)(q - q_p) - W_2(p)q. \end{aligned} \quad (1)$$

Для исследования таких систем применяется метод, основанный на теоремах Ляпунова об устойчивости по первому приближению. При этом линеаризация нелинейных уравнений относительно нестационарного режима приводит к необходимости исследования линейных систем с переменными коэффициентами. Для решения этой задачи разработано ряд методов, таких как метод анализа устойчивости и точности нестационарной системы на основе параметрической передаточной функции, спектральный метод, метод, использующий преобразование Лапласа. Однако их применение сопряжено с некоторыми трудностями, в частности, использованию спектрального метода препятствует высокая размерность системы (1), описывающей манипулятор как объект управления. Поэтому, для исследования динамики нестационарных систем управления часто применяется метод «замороженных» коэффициентов. В его основу положено предположение о локальной постоянности коэффициентов линеаризованного уравнения в связи с тем, что переходные процессы в системах управления протекают существенно быстрее программного воздействия, что позволяет предполагать незначительность изменений коэффициентов системы. Будем рассматривать задачу исследования динамики замкнутой системы управления манипулятором робота по разбиению

фазового пространства системы на траектории. Системе операторных уравнений (1) соответствует нормальная система нелинейных нестационарных дифференциальных уравнений:

$$\frac{dx_i}{dt} = X_i(x_1, x_2, \dots, x_m, q_{jp}(t)), i = 1, 2 \dots m, m = 6 + \sum_{l=1}^3 n_l. \quad (2)$$

Предположим, что нелинейные функции $X_i(x_1, x_2, \dots, x_m, q_{jp}(t))$ удовлетворяют условиям существования и единственности решений:

$$x_k = f_k(t, x_1^0, \dots, x_m^0, t_0) \quad (3)$$

при заданных для $t = t_0$ начальных значениях $x_1 = x_1^0, \dots, x_m = x_m^0$ и программных изменениях обобщенных координат $q_{jp}(t), j = 1, 2, 3$.

Фазовое пространство Φ_{m+1} такой системы имеет размерность $m+1$ и представляет собой множество $T \times X$, где T – множество моментов времени, а X – множество состояний переменных. Как известно, изучение структуры разбиения фазового пространства системы на фазовые траектории может быть сведено, в случае неавтономной системы, к изучению точечного отображения сдвига $T\tau$, которое связывает координаты точки M фазового пространства Φ_{m+1} в момент времени t и координаты точки \bar{M} , в которую точка M перейдет спустя время τ согласно дифференциальным уравнениям (2). Отображение сдвига $T\tau$ определяется в фазовом пространстве Φ_{m+1} соотношениями вида (1):

$$x_k = f_k(t + \tau, x_1^0, \dots, x_m^0, t) \quad (4)$$

Предположим, что нелинейные функции $X_i(x_1, x_2, \dots, x_m, q_{jp}(t))$, стоящие в правой части системы (2) являются периодическими (периода τ) функциями.

Тогда, согласно [2], периодическому решению периода τ исследуемой системы соответствует неподвижная точка M^* отображения $T\tau$, причем из асимптотической устойчивости по Ляпунову периодического решения следует асимптотическая устойчивость точки M^* , и обратно. Для того, чтобы неподвижная точка M^* точечного преобразования сдвига была асимптотически устойчива в малом достаточно [2], чтобы все корни характеристического уравнения, линеаризованного в окрестности точки M^* отображения:

$$\det \left| \left(\frac{\partial f_i}{\partial x_k} \right)_{M^*} - \delta_{ik} z \right|_{i,k=1}^m = 0$$

лежали строго внутри единичного круга комплексной плоскости z .

Заключение

Таким образом, получаем, что задача исследования динамических свойств замкнутой исполнительной системы управления трехзвенным манипуляционным роботом, описываемой системой нелинейных

нестационарных дифференциальных уравнений может быть сведена к изучению точечных отображений $T\tau$, а именно, к нахождению неподвижных точек этих отображений и к исследованию их на устойчивость. В ряде случаев, (например, при учете люфта в редукторе управляющих приводов) исследование динамики такой системы приводит к необходимости изучения систем нелинейных нестационарных уравнений, не допускающих линеаризацию в малом, т.е. систем уравнений с кусочно-гладкими правыми частями. Решение задачи определения точечного отображения $T\tau$ сведется к рассмотрению областей фазового пространства, в которых поведение исследуемой системы описывается линеаризуемой в малом системой дифференциальных уравнений, к нахождению решений таких уравнений и к последующему «сшиванию» полученных решений по непрерывности [3].

Библиографический список

1. Медведев В.С., Лесков А.Г., Ющенко А.С. Системы управления манипуляционными роботами.- М.:Наука,1978.
2. Бутенин Н.Б., Неймарк Ю.И., Фуфаль Н.А. Введение в теорию нелинейных колебаний. М.:Наука,1976.
3. Неймарк Ю.И. Метод точечных отображений в теории нелинейных колебаний.-М.: Наука ,1972.

Сведения об авторах

ФИО	Алексеева С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	Pum222@mail.ru
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Марков В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации университет имени С.М. Кирова
194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 1503-7932
e-mail mactor85@mail.ru

ФИО Иванов А.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail andreyiv1997@mail.ru

Аннотация

Выполнен анализ нелинейной неавтономной системы управления с периодическими внешними воздействиями методом точечных отображений на примере замкнутой исполнительной системы управления манипуляционными роботами. Показано, что устойчивость периодических программных движений таких систем определяется расположением внутри единичного круга комплексной плоскости корней характеристического полинома точечного отображения сдвига.

Ключевые слова: нелинейность, точечное отображение, неподвижная точка, устойчивость, система управления.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.30.31 Управление роботами и манипуляторами.

Сравнение метода получения диоксида углерода в цикле газовой регенеративной холодильной машины с адсорбционно-десорбционным способом

Апицына О.С., Иванова И.В.

Введение

Весомое влияние на климат Земли оказывают выбросы парниковых газов в атмосферу. Их основным составляющим компонентом является диоксид углерода CO_2 , образующийся в результате сжигания органического топлива. По данным 2017 года по сравнению с доиндустриальным периодом (1750 г.) концентрация углекислого газа возросла на 46 % с 277 до 405 ppm. Озабоченность мировой общественности изменением климата в целом и глобальным потеплением в частности привели к активным разработкам в сфере улавливания и переработки парниковых газов [1].

Одним из способов полезного использования паров диоксида углерода является получение сухого льда. Сухой лед – высокотвердая форма двуокиси углерода, которая в естественных условиях исключает момент перехода в жидкое состояние, при этом она переходит сразу в газообразное состояние (сублимирует). Это вещество часто используют в роли хладагента в холодильной промышленности в связи с его отличными охлаждающими свойствами и отсутствием токсичности. Он имеет широкую область применения, начиная от пищевой, и заканчивая химической промышленностью.

Эффективность сухого льда в качестве хладоносителя значительно превышает эффективность водного льда. Полная холодопроизводительность 1 кг сухого льда с учетом использования холода паров, которые образуются при сублимации и отеплении их до $0\text{ }^\circ\text{C}$, составляет 665 кДж/кг, что в 1,9 раза выше холодопроизводительности 1 кг водного льда. В смеси сухого льда с эфиром можно получить температуру $-100\text{ }^\circ\text{C}$, а при создании вакуума – значительно ниже. [2]

Цель и задачи

Целью работы является сравнение традиционного способа получения CO_2 , основанного на химических процессах, с новационным способом получения, основанным на вымораживании паров диоксида углерода из газовых смесей в низкотемпературных турбодетандерах.

Методика исследования

Самым распространенным способом получения сухого льда является технология, основанная на извлечении CO_2 из продуктов сгорания топлива (дымовых газов), химическим методом, и превращении его в твердое состояние

в цикле высокого давления паровой холодильной машины при дросселировании жидкого диоксида углерода в область агрегатного состояния «твердое тело – пар».[3].

Подобный процесс производства сухого льда состоит из трех последовательных стадий:

- получения чистого газообразного CO_2 ;
- получения жидкого CO_2 из газообразного;
- получения твердого CO_2 из жидкого.

На стоимость сухого льда очень большое влияние оказывает именно первая стадия, сложность осуществления которой зависит от состава газовой смеси в источнике получения CO_2 .

В качестве источника сырья для промышленного производства могут быть использованы различные газовые смеси (табл. 1), содержащие диоксид углерода в более ли менее значительных количествах. Несмотря на то, что дымовые газы промышленных котельных содержат наименьшее количество диоксида углерода, они являются самым распространенным источником в виду их доступности и возможности производства CO_2 в местах потребления.

Схема технологического процесса очистки CO_2 показана на рис. 1. Дымовые газы, имеющие температуру 150...200 °С, поступают из дымохода котла в холодный скруббер 1, где при контакте с водой они охлаждаются и очищаются от механических примесей (зола, топливо) и частично от сернистых соединений.

Таблица 1.

Газовые смеси для промышленного производства

№ п/п	Источник CO_2	Содержание CO_2 в газовой смеси, %
1	Отходы спиртовых и гидролизных заводов	до 98
2	Экспанзерные газы	85...90
3	Дымовые газы известково-обжигательных печей	до 40
4	Дымовые газы промышленных котельных	9...16

В случае наличия в газе сернистых соединений, охлажденный поток засасывается воздуходувкой 2 и подается в содовый скруббер 3 для очистки от оксида серы и сероводорода. Водный раствор карбоната натрия Na_2CO_3 , циркулирующий скруббере, после насыщения сернистыми соединениями заменяют свежим. Итоговую промывку дымовые газы проходят в водяном

скруббере 4, где газы, кроме того, подогреваются теплой водой до температуры абсорбции 40...50 °С. Затем поток поступает в абсорбер 5, где в качестве сорбента применяется 12...15 процентный водный раствор моноэтаноламина (МЭА) (CH₂CH₂OH)NH₂, обладающего свойством впитывать диоксид углерода из дымовых газов. В результате МЭА насыщается СО₂, стекая вниз по насадке, а непоглощенная часть дымовых газов удаляется в атмосферу через выходное отверстие в верхней части абсорбера. Насыщенный МЭА забирается насосом и через теплообменник 6, где раствор подогревается жидкостью, направляется в верхнюю часть десорбера 8. Нагревшись до 100...105 °С за счет теплоты поднимающейся парогазовой смеси, раствор попадает в нижнюю часть аппарата, представляющую собой кожухотрубный пароперегреватель, обогреваемый водяным паром, подаваемым в межтрубное пространство. Десорбция обычно ведется под избыточным давлением около 70 кПа и при температуре примерно 125 °С.

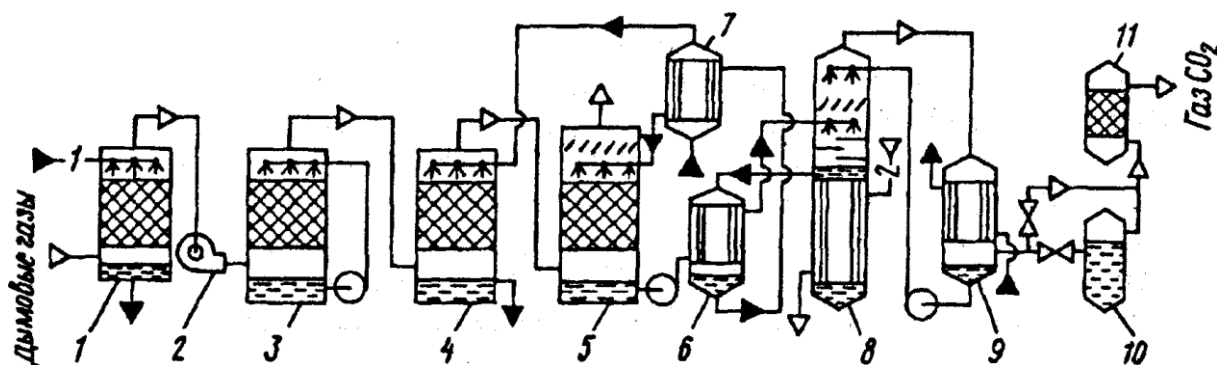


Рис. 1. Схема технологического процесса очистки CO₂:

1, 4 – водяной скруббер; 2 – воздуходувка; 3 – содовый скруббер; 5 – абсорбер; 6, 7, 9 – теплообменник; 8 – десорбер; 10 – колонка с жидким сорбентом; 11 – колонка с активированным углем.

Истощенный МЭА сливается в теплообменник 6, а потом выдавливается через теплообменник 7 в абсорбер 5. Выпаренный в пароперегревателе СО₂ вместе с водяным паром проходит через ректификационную часть десорбера, где освобождается от парообразного поглотителя и поступает в теплообменник 9, в котором парогазовая смесь охлаждается водой и значительная часть влаги конденсируется. Конденсат насосом возвращается в ректификационную часть десорбера. Диоксид углерода, насыщенный водяным паром, далее направляется или в колонку 10 с водным раствором перманганата калия (до 1 %), или непосредственно в колонку 11 с активированным углем для осушки и дезодорации. Очищенный СО₂, накапливается в газгольдере, откуда направляется, например, в первую ступень компрессора [4].

Вторая стадия производства сухого льда – сжижение СО₂ – осуществляется сжатием газа в компрессорах и конденсацией его в конденсаторах, в которых теплота обычно отводится водой. Диоксид углерода – хладагент высокого

давления, что приводит к большому отношению давлений при водяном охлаждении конденсатора. В связи с этим для охлаждения применяется трехступенчатая холодильная машина. Этот процесс носит название способа высокого давления. При температуре охлаждающей воды свыше 25 °С давление в конденсаторе становится неприемлемо высоким, что требует применения каскадных систем, в которых конденсат CO_2 охлаждается аммиачной или хладоновой холодильной установкой. Применяют две каскадные системы [4]:

1. Среднего давления – процесс конденсации диоксида углерода осуществляется при давлении 2,4...2,8 МПа и температуре конденсации –16...–8 °С. В подобной системе используется одноступенчатая холодильная установка, но она требует применения двухступенчатых компрессоров.

2. Низкого давления – диоксид углерода конденсируется при давлении 0,7...0,8 МПа (температура конденсации –50...–46 °С), но при этом необходима двухступенчатая холодильная установка.

С точки зрения расхода энергии и металлоемкости обе системы имеют примерно одинаковые показатели.

Для третьей стадии производства – получения твердого CO_2 из жидкого – обычно производят понижение температуры ниже температуры тройной точки, путем самоохлаждения в результате испарения части жидкости. Теплоту, необходимую для испарения отводят от самого охлаждаемого объекта. Применяют два основных способа получения твердого диоксида углерода [4]:

1. Замораживание CO_2 в льдогенераторе – данный способ применяется на заводах с производительностью до 8 т/сут. Он подразумевает медленное испарение жидкого CO_2 , находящегося в льдогенераторе под давлением 0,7...0,8 МПа, в среду с давлением ниже тройной точки; дросселирование жидкого CO_2 до давления немного ниже давления тройной точки, при котором образуется углекислотный снег, подвергающийся последующему прессованию.

2. Получение сухого льда путем прессования – распространен на заводах производительностью более 8 т/сут. При таком способе осуществляется дросселирование жидкого диоксида углерода из ресивера до давления равного 0,6...0,7 МПа с последующим поступлением в камеру пресса. Образовавшийся пар отсасывается компрессором и в камере остается снегообразный CO_2 , который прессуется в блоки массой от 25 до 100 кг.

Существующая технология получения диоксида углерода устарела и является дорогостоящей, т.к. для химического извлечения CO_2 из газовой смеси требуется металлоемкая аппаратура из нержавеющей стали, теплота для выпаривания раствора, большое количество воды и дорогостоящий абсорбент.

Существует зарубежная технология получения сухого льда от выше описанной принципиально не отличается. По данным зарубежных производителей, удельные показатели производства сухого льда улучшены за счет интенсификации теплообмена в химической части установки, что позволило сократить металлоемкость производства, а также снижены затраты электроэнергии за счет совершенствования компрессорной и насосной техники [3].

Одна из новых технологий получения сухого льда основана на вымораживании диоксида углерода из газовых смесей в цикле низкотемпературной газовой холодильной машины (ГХМ). При расширении газовой смеси в турбодетандере газовой холодильной машины пары диоксида углерода, содержащиеся в этой смеси, кристаллизуются за счет холодопроизводительности расширяющегося потока. Поскольку весь термодинамический цикл ГХМ совершается в области сильно перегретого пара (газа), то химическая часть производства в данной технологии отсутствует.

Схема работы ГХМ с вымораживанием диоксида углерода представлена на рис. 2. Дымовые газы поступают в турбокомпрессор 3, где происходит повышение давления в 2...3 раза, что приводит к росту температуры потока. Далее газовая смесь идет на охлаждение в водяной теплообменный аппарат 4, где охлаждается до состояния, примерно соответствующего состоянию окружающей среды. При этом часть водяных паров, содержащихся в смеси конденсируется, что приводит к необходимости установки каплеотделителя. Далее поток поступает на парный регенератор 7, для глубокого охлаждения за счет холода, накопленного насадкой.

Охлаждение происходит до температуры близкой к температуре насыщения диоксида углерода в смеси газов. Регенераторы связаны между собой клапанными коробками 6, представляющими собой четырехходовые клапаны. После этого поток идет в турбодетандер 8 и охлаждается до температуры насыщения диоксида углерода, то есть до температуры, соответствующей парциальному давлению CO_2 , что приводит к процессу десублимации. Часть диоксида углерода в потоке превращается в углекислотный снег, улавливаемый сепаратором. Для получения сухого льда, снег поступает в прессователь 10, а при необходимости получения жидкого CO_2 – в ожижитель. Освобожденный холодный поток поступает для охлаждения насадки регенератора и цикл замыкается [5].

Установка для получения сухого льда по этой технологии значительно упрощается, в несколько раз снижается металлоемкость, уменьшается расход воды. Эта установка может быть привязана к отходящим дымовым газам любой котельной или ТЭЦ, к отходящим газам известково-обжигательных и

карбидных печей, а также может быть включена в технологический процесс переработки биогаза в качестве разделительной установки [3].

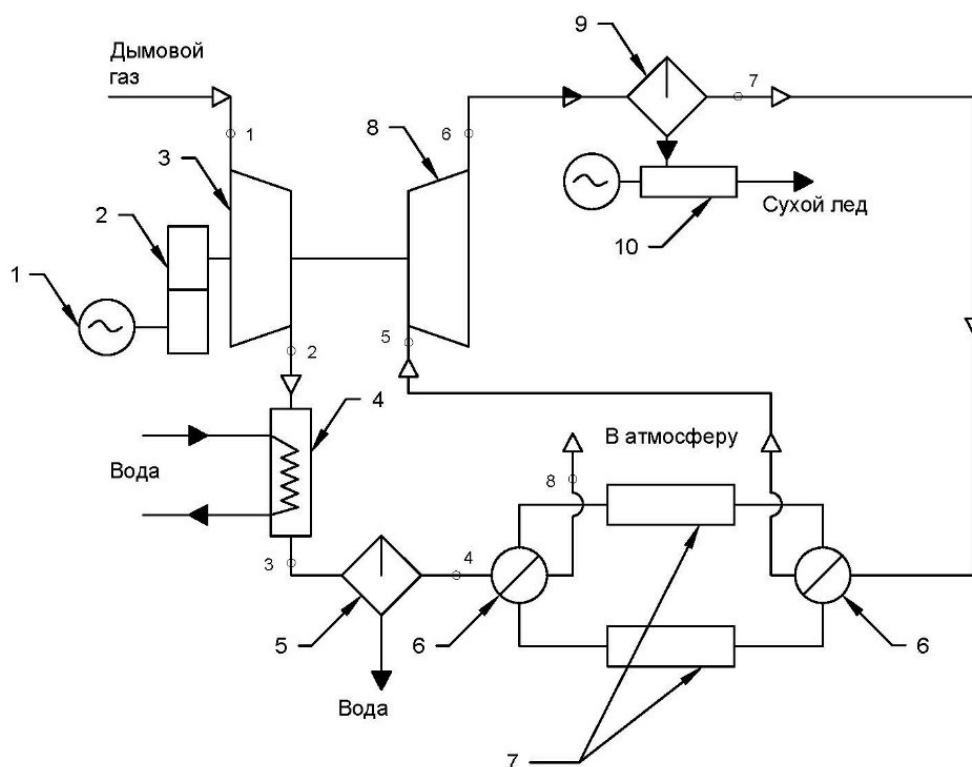


Рис. 2. Схема ГХМ с вымораживанием диоксида углерода:

1 – электродвигатель; 2 – мультипликатор; 3 – компрессор; 4 – водяной теплообменник; 5 – каплеотделитель; 6 – клапанная коробка; 7 – регенератор; 8 – турбодетандер; 9 – сепаратор; 10 – прессователь

Заключение и выводы

При сравнении основных показателей технологических процессов получения диоксида углерода (табл. 2), можно прийти к выводу, что несмотря на высокие затраты электроэнергии в новом способе получения диоксида углерода полностью отсутствуют расходы топлива на процесс десорбции, а также расход абсорбента. Расходы воды и металлоемкость сокращаются более чем в 4 раза, чем при традиционном способе получения CO_2 .

Результаты исследования [3] доказывают, что вымораживание диоксида углерода в турбодетандере не вызывает эрозийного износа его проточной части, а так же показывают, что при правильном выборе расширительного устройства, обеспечении максимально возможного для рассматриваемых типов расширительных устройств начального давления газовой смеси и верный выбор концентрации паров диоксида углерода в газовой смеси можно получить максимальную эффективность получения твердой фазы.

**Основные показатели технологических процессов
получения диоксида углерода**

№ п/п	Показатели:	Абсорбционно-десорбционный способ	Зарубежная технология	Вымораживание CO₂ из газовых смесей в цикле ГХМ
1	Металлоемкость, т/(т. сухого льда)	25	10...15	5...8
2	Затраты электроэнергии, кВт·ч/(т. сухого льда)	600...800	270	1280
3	Расход топлива на процесс десорбции, кг у.т./ (т. сухого льда)	750...1000	760	–
4	Расход воды, м ³ /(т. сухого льда)	170...220	380	40
5	Расход абсорбента, кг/(т. сухого льда)	8	6...8	–

Библиографический список

1. Парниковые газы / Википедия [Электронный ресурс]: интернет-сайт <https://ru.wikipedia.org/wiki/>
2. Сухой лед и источники его получения / Ксирон-Холод [Электронный ресурс]: интернет-сайт <http://www.xiron.ru/content/view/29254/28/>
3. Данилов, М.М. Особенности процесса получения твердого диоксида углерода в низкотемпературных турбодетандерах: дис. канд. техн. наук – СПб.: 2003. – 142 л.
4. Курьлев, Е.С. Холодильные машины: Учебник для студентов вузов специальности «Техника и физика низких температур», «Холодильная криогенная техника и кондиционирование» / Е.С. Курьлев, В.В. Оносовский, Ю.Д. Румянцев. – СПб.: Политехника, 1999. – 576 с.
5. Варенков, С.В. Турбодетандер газовой холодильной машины, работающий с вымораживанием диоксида углерода в проточной части: Дис. ...канд. техн. наук. – Л.: 1983. – 216 л.

Сведения об авторах

ФИО Апицына О. С.

Организация Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики

Адрес организации 197101, Кронверкский пр., д. 49, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код 2831-4910

e-mail apitsyna.olga@yandex.ru

ФИО Иванова И. В.

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9424-7866
e-mail irenalta@mail.ru

Аннотация

Одним из способов полезного использования паров диоксида углерода, влияющего на климат Земли, является получение сухого льда. Проведено сравнение традиционного способа получения CO₂, основанного на химических процессах, с новационным способом получения, основанным на вымораживании паров диоксида углерода из газовых смесей в низкотемпературных турбодетандерах. В результате сравнения основных показателей технологических процессов получения диоксида углерода можно сделать выводы, что в новом способе получения диоксида углерода (вымораживание диоксида углерода в турбодетандере) полностью отсутствуют расходы топлива на процесс десорбции, а также расход абсорбента; расходы воды и металлоемкость сокращаются более чем в 4 раза, чем при традиционном способе получения CO₂; не вызывает эрозийного износа его проточной части, а так же показывают, что при правильном выборе расширительного устройства, обеспечении максимально возможного для рассматриваемых типов расширительных устройств начального давления газовой смеси и верный выбор концентрации паров диоксида углерода в газовой смеси можно получить максимальную эффективность получения твердой фазы.

Ключевые слова: диоксид углерода; вымораживание; газовая смесь; турбодетандер; газовая холодильная машина; carbon dioxide; freezing; gas mixture; turbo expander; gas refrigerating machine.

УДК 621.594

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.39.41

Энергозатраты нагрузочного и скоростного режимов машинно-тракторного агрегата в условиях эксплуатации

Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.

Режим пахоты является наиболее энергоемким процессом из всех работ, связанных с обработкой почвы. Сила сопротивления движению машинно-тракторному агрегату (МТА) зависит от характеристик микрорельефа почвы, ее физико-механического состава [1, 2] и является случайным процессом.

Изменения скорости движения МТА, касательной силы тяги трактора, энергозатраты также зависят от характеристик пашни и представляют собой реакцию на внешние воздействия

Значительную часть времени МТА работают в неустановившемся режиме из-за неравномерности хода, особенностей технологического процесса, характеристик пашни и др. Крутильные колебания нагрузки на коленчатом валу по величине и продолжительности до 40% носят периодический характер.

Колебания нагрузки с большой частотой отфильтровываются инерционностью масс МТА и не оказывают существенного влияния на степень неравномерности нагрузки и качество выполнения технологических операций. Колебания же нагрузки с малой частотой вызывают отклонения нагрузки от среднего установившегося значения и отрицательно влияют на качество технологических операций и сопровождаются повышенными энергозатратами [3].

Весь спектр частот входной нагрузки на трактор можно разделить на пять составляющих, изменяющихся в диапазоне от 0,05 до 30 Гц и более[4]:

- первая составляющая нагрузки зависит от физико-механических свойств почвы, и изменяется в диапазоне от 0,05 до 0,25 Гц;
- вторая составляющая – от микрорельефа пашни, технологии процесса и сил инерции, и изменяется с частотой от 0,3 до 5 Гц;
- третья составляющая – от неравномерности хода гусеничного движителя, при этом частота изменяется в диапазоне от 5 до 11 Гц;
- четвертая и пятая составляющие – высокочастотные от работы шестерен бортовой и главной передач – изменяются с частотой от 11 до 30 Гц и выше.

На основании статистических данных изменения силы сопротивления на крюке [5], можно выделить пять основных составляющих случайного процесса при работе трактора с плугом:

- первая составляющая изменяется в диапазоне частот от 0,07 до 0,25 Гц с амплитудой от 2,5 до 3,0 кН;
- вторая составляющая изменяется в диапазоне частот от 1,0 до 1,5 Гц с амплитудой от 4,6 до 5,0 кН;
- третья составляющая изменяется в диапазоне частот от 2,5 до 3,0 Гц с амплитудой от 4,8 до 5,1 кН;
- четвертая составляющая изменяется в диапазоне частот от 5,0 до 6,0 Гц с амплитудой от 1,8 до 2,5 кН;
- пятая составляющая изменяется в диапазоне частот от 10 до 12 Гц с амплитудой от 0,4 до 0,6 кН.

Первая и четвертая составляющие возникают от взаимодействия трактора и орудия труда с почвой. На формирование первой составляющей влияет также рельеф почвы. Вторая и третья совпадают с собственной частотой колебаний в подвеске остова трактора. Пятая составляющая вызывается ходовой системой.

Все колебательные процессы в тракторе [5] можно разделить на три группы:

- колебания отдельных деталей трактора. Они отражаются в основном на надежности трактора и условиях труда тракториста;
- крутильные колебания в многомассовой динамической системе “двигатель – силовой привод”. Они влияют на показатели надежности трактора;
- низкочастотные колебания и переходные процессы в системах трактора (в системе регулирования вращения коленчатого вала двигателя, в системе подрессоривания остова трактора и др.). Эти процессы влияют на энергозатраты.

Применительно к тяговой динамике МТА низкочастотными колебаниями считаются колебания с спектром частот от 0 до 5 Гц, так как на этот диапазон частот приходится основная доля энергии колебательного процесса. К диапазону 0...5 Гц относятся колебания вращения коленчатого вала двигателя в установившемся режиме и при разгоне, а также колебания остова трактора.

Парциальная частота, безопасная для работы тракториста [6], равна 7,9...9,5 с⁻¹. Для уменьшения отрицательного влияния низкочастотных колебаний остова трактора выдвигаются основные требования [7]:

- снижение статической и динамической нагруженности на опорные катки для уменьшения воздействия на почву, деформации грунта и износа пары «опорный каток – беговая дорожка гусеницы»;
- снижение возмущающего воздействия неровностей пути на остов трактора для уменьшения уровня низкочастотных колебаний и снижения нагруженности деталей ходовой и несущей систем;
- обеспечение нормального агрегатирования трактора с навесным оборудованием и устойчивость в работе.

С целью снижения уровня низкочастотных колебаний остова, как наиболее энергоемкого входного возмущающего воздействия со стороны микрорельефа пути, предлагается устанавливать в систему подрессоривания упругих элементов различной жесткости, которые позволяют значительно снизить уровень этих колебаний [8].

Кроме того, колебания остова трактора в низкочастотном диапазоне создают периодические изменения нагрузки на двигатель, вызывая колебания в системе автоматического регулирования частоты вращения коленчатого вала,

что приводит к колебаниям скорости движения трактора и, как следствие, повышенным энергозатратам.

Поэтому значительная часть исследований нагрузочных и скоростных режимов, энергозатрат и производительности МТА должны сводиться к изучению работы двигателя МТА при неустановившихся режимах.

Библиографический список

1. Лурье А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов.– Л.: Колос, 1970.– 376 с.
2. Лурье А. Б. Автоматизация сельскохозяйственных агрегатов.– Л.: Колос, 1967.– 264 с.
3. Болтинский В. Н. Работа тракторного двигателя при неустановившейся нагрузке.– М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1949.– 214 с.
4. Болотин А. А. О характере нагрузки на двигатель и силовую передачу трактора.– М.: Тракторы и сельхозмашины, 1959, №11.– С. 15-19.
5. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства.– М.: Колос, 2004.– 504 с.
6. Анилович В. Я., Водолажченко Ю. Т. Конструирование и расчет сельскохозяйственных тракторов.– М.: Машиностроение, 1976.– 455 с.
7. Уткин-Любовцов В. Н. Перспективы развития систем поддрессоривания гусеничных тракторов. // Повышение функциональных качеств систем поддрессоривания гусеничных тракторов: Труды НАТИ.– М., 1985.– С. 3-5.
8. Доскалевич И. Н., Завьялов С. С., Селицкий С. З., Зачесов Н. И. Исследование вибронагруженности трактора тягового класса 35 с двумя типами ходовой системы. // Повышение функциональных качеств систем поддрессоривания гусеничных тракторов: Труды НАТИ.– М., 1985.– С. 61-72.

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	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены энергозатраты нагрузочного и скоростного режимов машинно-тракторного агрегата в условиях эксплуатации. Приведен спектр частот входного момента нагрузки на МТА. Определены пять основных составляющих случайного процесса при работе трактора с плугом. Представлены причины их возникновения. Рассмотрены некоторые пути снижения уровня низкочастотных колебаний остова МТА.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, энергозатраты, колебания нагрузки, парциальная частота, система поддрессоривания, работа двигателя при неустановившихся режимах.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57

Анализ условий функционирования машин лесного комплекса

Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.

В технологических процессах лесовосстановления большой удельный вес приходится на операции по обработке почвенного покрова. В зависимости от вида лесонасаждения почвенно-климатических условий эти операции могут отличаться, но для большинства культур основной операцией является взаимодействие технологического оборудования с почвой.

В районах с засушливым климатом и тонким пахотным горизонтом создаются траншеи глубиной менее толщины пахотного горизонта для сбора влаги и внесения в них посадочного материала. С влажным климатом – траншеи нарезаются для дренажа грунтовых вод и посадки саженцев (сеянцев) в отвалы. В обоих случаях пахотный процесс сопровождается деформацией, разрушением и перемещением больших масс почвенных пластов, как следствие – значительными затратами энергии машинно-тракторного агрегата (МТА).

Существующие предпосылки о "равновесных" состояниях МТА при проектировании сельскохозяйственных агрегатов позволили установить наиболее целесообразные параметры сельскохозяйственных машин и технологического оборудования [1]. Однако, для лесохозяйственных машин и агрегатов при использовании этих предпосылок в процессе проектирования необходимо учитывать особенности характеристик места работы МТА зачастую с количеством пней до 600 шт/га. Поэтому для правильной оценки энергетических и технико-экономических показателей лесохозяйственных МТА необходимо проанализировать статистику исследований взаимодействия

машин лесного комплекса с внешней средой, проследить вероятностно-статистические связи этих процессов.

Профиль поля является основным видом возмущающего воздействия на МТА как сельскохозяйственного, так и лесохозяйственного назначения. Его профиль и структура влияют на неравномерность хода, линейные и угловые колебания агрегата.

На практике неровности поля оценивают профилированием, получая случайную функцию $x_n(l)$ пути l . По профилограмме получают корреляционную функцию $\rho_x(l, l+\Delta l)$ и спектральную плотность $S_x(\bar{\omega})$ стационарного случайного процесса. Аргументы l и Δl корреляционной функции имеют размерность длины (м), а аргумент $\bar{\omega}$ спектральной плотности – размерность м^{-1} . Характеристики $\rho_x(l, l + \Delta l)$, $S_x(\bar{\omega})$ определяют изменения ординат неровностей в функции пути. При изучении динамики МТА воздействие микропрофиля пути зависит от скорости движения, поэтому случайный процесс принято рассматривать с аргументом времени t [2].

Исследованию профилей лесных микрорельефов и их влиянию на динамику МТА посвящено ряд работ, наиболее полной являются исследования Ю.А. Добрынина [3]. В его работе приводятся экспериментальные кривые нормированных корреляционных функций $\rho_x(l)$ трех участков: магистрального волока; пасечного волока; лесной дороги. Нетрудно заметить сходство профилей, представленных корреляционными функциями сельскохозяйственного поля и лесного.

Очевидно, с увеличением скорости движения МТА v собственные частоты ω_c увеличиваются, а величина амплитуды A_s спектральной плотности воздействия на собственных частотах снижается:

- - пасечного волока (рис.1.3, а) с $A_s = 0,28$ с на $\omega_c = 0,83 \text{ с}^{-1}$ при $v = 1$ м/с до $A_s = 0,045$ с на $\omega_c = 7,5 \text{ с}^{-1}$ при $v = 7$ м/с;
- - магистрального волока (рис.1.3, б) с $A_s = 0,425$ с на $\omega_c = 0,83 \text{ с}^{-1}$ при $v = 1$ м/с до $A_s = 0,05$ с на $\omega_c = 4,4 \text{ с}^{-1}$ при $v = 7$ м/с;
- - лесной дороги (рис.1.4) с $A_s = 0,87$ с на $\omega_c = 2,45 \text{ с}^{-1}$ при $v = 2$ м/с до $A_s = 0,024$ с на $\omega_c = 10,0 \text{ с}^{-1}$ при $v = 7$ м/с.

Земледельческая механика [4] современные разработки теории МТА [5,6], как научная база по проектированию и созданию сельскохозяйственных машин, помимо детерминированных методов расчета широко используют вероятностно-статистические методы расчета динамических процессов [2, 7]. Для лесохозяйственного МТА входным случайным воздействием являются микронеровности поверхности пути движения, физико-механические свойства почвы (влажность, плотность, структурный и механический состав,

разветвленность корневой системы). В этом случае выходные тягово-скоростные, энергетические и технологические показатели МТА будут также случайными и могут интегрально выражаться спектральной плотностью и дисперсией реакции привода и системы подрессоривания массы МТА. Поэтому с целью большей точности и достоверности оценки показателей МТА необходимо учитывать характеристики условий микрорельефов, а именно спектр частот и величину дисперсий, интегрально характеризующих условия функционирования МТА.

Библиографический список

1. Чудаков Д. А. Основы теории сельскохозяйственных навесных агрегатов. – М.: Машгиз, 1954.– 384 с.
2. Лурье А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов.– Л.: Колос, 1970.– 376 с.
3. Добрынин Ю. А. Исследование вертикальной динамики колесного трактора на трелевке в условиях рубок промежуточного пользования: дис. ... канд. техн. наук.– Л.: ЛТА, 1973.– 205 с.
4. Горячкин В. П. Собрание сочинений. 2-е изд., т. 1. – М.: Колос, 1968. – 720 с.
5. Барский И. Б., Анилович В. Я., Кутьков Г. М. Динамика трактора. – М.: Машиностроение, 1973.– 280 с.
6. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства.– М.: Колос, 2004.– 504 с.
7. Лурье А. Б. Автоматизация сельскохозяйственных агрегатов.– Л.: Колос, 1967.– 264 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	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru

ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Рассмотрены особенности условий функционирования МТА в лесном хозяйстве. Профиль поля является основным видом возмущающего воздействия на МТА как сельскохозяйственного, так и лесохозяйственного назначения. Его профиль и структура влияют на неравномерность хода, линейные и угловые колебания МТА. С целью большей точности и достоверности оценки показателей МТА необходимо учитывать характеристики условий микрорельефов, а именно спектр частот и величину дисперсий, интегрально характеризующих условия функционирования МТА.

Ключевые слова: профиль поля, МТА, корреляционные функции, спектр частот, дисперсия.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Влияния скорости машинно-тракторного агрегата на некоторые стохастические характеристики его функционирования

Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.

Для оценки качества работы машинно-тракторного агрегата (МТА) часто используют математическое ожидание, среднее квадратическое отклонение, коэффициент вариации и корреляционную функцию случайного процесса и т.п. Так как все эти показатели существенно зависят от скорости движения МТА, то такая оценка не всегда дает достаточно точные результаты. Например, по результатам испытаний плуга П-5-35МГ [1] на холостом ходу и при пахоте на двух скоростях движения 5,08 км/ч и 7,0 км/ч выяснено, что при увеличении скорости движения на 40% средние значения тяговых сопротивлений увеличиваются на 20% при холостом ходе, и на 31% - при пахоте; заметного изменения средних значений реакций почвы на колеса плуга с повышением скорости не отмечено. Более существенны колебания мгновенных значений реакций почвы на все колеса плуга, особенно на бороздное колесо, где значения коэффициента вариации реакции достигает 74% при скорости движения 7 км/ч, в сравнении со скоростью движения 5,08 км/ч, где коэффициент вариации реакции равен 26%.

Нормированные спектральные плотности $S_F(\omega)$ процессов изменения тягового сопротивления при холостом ходе и при пахоте обладают большей информативностью о характере случайного процесса. Имеются два максимума $S_F(\omega)$ в рабочем режиме и один в – холостом.

При скорости движения 5,08 км/ч основная доля $S_F(\omega)$ приходится на интервал следующих частот [1]:

- 6...7 с⁻¹ – у процесса изменения усилий на опорном колесе плуга;
- 7...8 с⁻¹ – у процесса изменения реакций на опорном колесе плуга;
- 8...10 с⁻¹ – у процесса изменения усилий в тягах навески.

Увеличение скорости движения МТА до 8,1 км/ч сопровождается расширением спектра частот у всех процессов и некоторым уменьшением спектральной плотности. Это можно объяснить возросшей частотой встречи МТА с неровностями и неоднородностью структуры почвы, а также влиянием самих характеристик МТА.

Таким образом, анализ информации о процессе работы МТА в различных условиях эксплуатации позволяет установить некоторые общие закономерности изменения спектральных характеристик этих процессов и определить их частотный состав для технологических и энергетических параметров МТА – глубине пахоты, тяговых усилиях, крутящих моментах.

Для процессов обработки почвы характерен низкочастотный спектр (не более 5,0...5,5 с⁻¹). При скоростях движения до 5...7 км/ч частота не превышает 5...15 с⁻¹, а для скоростей движения 15...18 км/ч спектры дисперсий ряда процессов расширяются, а частоты спектральных плотностей достигают 25...30 с⁻¹. В этом плане хорошую наглядность, получаемым результатам дают нормированные спектральные плотности некоторых параметров МТА при скорости движения 8,1 км/ч [1].

Из характера изменения кривых спектральных плотностей [1] видно, что:

- спектры частот процессов при изменении глубины пахоты и реакции на опорном колесе плуга не превышают 10...12 с⁻¹ с максимумом при 4 с⁻¹ и 7,5 с⁻¹, соответственно;
- процессы изменения горизонтальных составляющих усилий в подвеске являются также узкополосными, максимумы приходятся на частоту 10 с⁻¹;
- процесс изменения нагрузки передней оси трактора имеет два максимума на частотах 2,5 с⁻¹ и 20 с⁻¹, но спектр частот сдвинут в сторону 20...25 с⁻¹;
- процессы изменения крутящих моментов на полуосях трактора оказались более широкими (до 22 с⁻¹) с максимумом на частотах равных 2,5 с⁻¹ и 19 с⁻¹.

В представленных спектральных плотностях процесса взаимодействия МТА с микрорельефом поля учитываются характеристики почвы, конструктивные особенности плуга и системы поддрессоривания трактора, а также динамики МТА. Из выше сказанного, можно сделать вывод о распределении влияния перечисленных факторов по интервалам частот:

- в диапазоне частот $0...5\text{ с}^{-1}$ наибольшее влияние оказывают микрорельеф поля и силовая передача;
- в диапазоне частот $5...12\text{ с}^{-1}$ преобладает влияние вертикальных и продольно-угловых колебаний остова трактора и характеристик почвы;
- в диапазоне частот $15...25\text{ с}^{-1}$ основное влияние прослеживается от угловых колебаний трактора относительно оси подвеса плуга.

Из анализа характеристик микропрофилей полей следует, что существуют интервалы частот с повышенными спектральными плотностями, создающими переменные нагрузки в подвесе, силовой передаче и агрегатах и как следствие, ухудшающие качество выполняемых технологических операций. Учет этих факторов при проектировании и создании МТА может повысить эффективность их работы в лесу.

Библиографический список

1. Лурье А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов. – Л.: Колос, 1970.– 376 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	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru

ФИО	Елифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Рассмотрено влияния скорости машинно-тракторного агрегата на некоторые стохастические характеристики его функционирования. Делается вывод, что нормированные спектральные плотности процессов изменения тягового сопротивления при холостом ходе и пахоте обладают большей

информативностью о характере случайного процесса. Приводятся частотные диапазоны и факторы, влияющие на колебания МТА в процессе его работы.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, скорость движения МТА, спектральные плотности процессов взаимодействия МТА с почвой, диапазоны частот.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Износ пар трения двигателей машинно-тракторных агрегатов, как основной показатель их долговечности

Власов Е.Н., Елифанова А.Ю.

Долговечность двигателей в условиях эксплуатации в основном определяется износом деталей цилиндро-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма. Их состояние является одним из основных факторов, определяющим ресурс двигателя.

Износ деталей двигателя является следствием большого количества взаимосвязанных факторов. Помимо температурного режима на интенсивность изнашивания оказывает влияние качество эксплуатационных материалов и режимы работы двигателя. Например, увеличение содержания серы в дизельном топливе с 0,2% до 1,5% увеличивает износ цилиндро-поршневой группы холодного двигателя в 5...8 раз [1]. Даже при оптимальном температурном режиме увеличение концентрации серы с 0,2% до 0,6% увеличивает износ гильз и поршневых колец в 2,5 раза [2]. В условиях эксплуатации износ двигателя зависит от состояния смазки пар трения и характера изменения нагрузочного и скоростного режимов [3], то есть, от давления на поверхности трения и скорости относительного скольжения пар трения. При изменениях нагрузочного и скоростного режимов меняются условия смазки пар трения, возрастает действие сил инерции, сопровождаемые повышением температуры трения от 350° С до критической, происходит резкое снижение твердости в поверхностных слоях стальных закаленных шеек валов вследствие явлений возврата и рекристаллизации [4].

Сопряжение “шатунная шейка - подшипник” работает в более тяжелых условиях, чем “коренная шейка - подшипник”. Повышенный износ шатунных шеек подтверждается рядом испытаний тракторных двигателей. По данным НАТИ [5], за 1000 часов работы двигателя Д-54 коренные шейки изнашивались на 0,01...0,03 мкм, а шатунные – на 0,03...0,07 мкм. Стендовые испытания двигателей ЗИЛ-120 показали: за 1,5 часа приработки износ шатунных шеек коленчатого вала составил в среднем 4,11 мкм, а коренных – 3,6 мкм при смазке

свежим маслом автол 6. При загрязнении масла от трех предшествующих приработок износ шеек составил соответственно 13,61 мкм и 12,65 мкм [5].

Основными причинами, вызывающими более интенсивный износ шатунных шеек коленчатого вала по сравнению с коренными, это плохая подача масла и более тесное сближение трущихся поверхностей. По мере уменьшения давления масла в маслопроводящих каналах растет внутренний нагрев масляного слоя, уменьшается вязкость и толщина, возрастает вероятность его разрыва и соприкосновения микронеровностей. Шатунные шейки наиболее интенсивно изнашиваются со стороны, обращенной к оси коленчатого вала. Это связано с действием сил инерции и нагрузок от давления газов [5]. Приращение подачи топлива вызывает приращение частоты вращения коленчатого вала и приращение давления масла в главной масляной магистрали, которое запаздывает по фазе на 180° от приращения момента нагрузки. Это создает режим сухого трения, как следствие – возникновение автоколебательного процесса, сопровождаемого повышенными энергозатратами. Экспериментально полученные частотные характеристики часового расхода топлива и скорости объемного изнашивания пар трения указывают на существующую зависимость ресурса двигателя от его энергозатрат.

Из анализа работ, посвященных вопросам трения и износа автотракторных двигателей, можно сделать вывод, что основной причиной повышенных износов является несоответствие смазочного режима пар трения тепловому, нагрузочному и скоростному режимам, характерных для условий эксплуатации автотракторных двигателей, что приводит к разрушению масляной пленки неиспарившимся топливом для цилиндра-поршневой группы; к нарушению гидродинамического режима смазки для кривошипно-шатунного механизма, следствием чего является разрыв масляной пленки. В обоих случаях это приводит к появлению очагов схватывания, усталостному и абразивному видам изнашивания. Расход масла на угар и скорость изнашивания пар трения зависят также и от давления масла в главной масляной магистрали, поэтому причиной повышенных значений расхода масла на угар и скорости изнашивания является: в установившемся режиме несоответствие величины давления масла в главной масляной магистрали величине нагрузочного и скоростного режимов; в неустановившемся режиме несоответствие амплитуды и фазы давления масла в главной масляной магистрали амплитуде и фазе колебаний нагрузки на коленчатом валу.

Библиографический список

1. Алексеев В. Н., Кувайцев И. Ф. Автотранспортные эксплуатационные материалы.– М.: Оборонгиз, 1958.– 252 с.
2. Смирнов М. С., Очеретяный И. Т. Влияние различных дизельных топлив и температуры охлаждающей жидкости на износ деталей цилиндро-поршневой группы дизеля. // Повышение износостойкости деталей двигателей внутреннего сгорания. Сб. трудов.– М.: Машиностроение, 1972.– С. 43-48.
3. Эльович И. И. Теоретическое обоснование требований к эксплуатационным качествам масел для двигателей внутреннего сгорания. // Труды III всесоюзной конференции по трению и износу, т. 3.– М.: АН СССР, 1960.– С. 21-27.
4. Мишин И. А. Долговечность двигателей.– Л.: Машиностроение, 1976.– 228 с.
5. Григорьев М. А., Пономарев Н. И. Разработка методики уско-ренных стендовых испытаний двигателей на надежность и долговечность. // Труды НАМИ, вып. 103.– М., 1968.– С. 108-131.

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	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Епифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Долговечность двигателей в основном определяется износом деталей цилиндро-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма. Рассмотрены факторы, влияющие на износ деталей двигателей МТА.

Ключевые слова: износ деталей цилиндро-поршневой группы и кривошипно-шатунного механизма, эксплуатационные материалы, режимы работы двигателя, условия смазки пар трения.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Повышение эффективности и технико-экономических показателей машинно-тракторного агрегата

Власов Е.Н., Епифанова А.Ю.

Одним из путей повышения экономичности и производительности машинно-тракторных агрегатов (МТА) является минимизация энергии, необходимой для выполнения технологических операций, связанных с подготовкой почвы, внесением удобрений и семян, промежуточным уходом. Минимизация расходования энергии приобретает особое значение в условиях всесторонней механизации технологических процессов в лесных хозяйствах при росте цен на основные энергоносители.

Исследования силовых передач, исполнительных механизмов и агрегатов МТА обычно ограничиваются их динамической нагруженностью и не учитывают энергетические показатели, связанные с расходом топлива и масла на угар, затратами мощности, интенсивностью износа. Поэтому весьма актуальной остается задача энергетической оценки динамических процессов МТА, снижения энергозатрат и увеличения ресурса энергосиловой установки. Она должна решаться при проектировании, эксплуатации и прогнозировании энергозатрат и ресурса МТА, как в установившихся, так и переходных режимах эксплуатации.

Для развития и совершенствования парка лесохозяйственных пахотных машин важно обоснование энергозатрат машинно-тракторным агрегатом, установление взаимосвязи между энергозатратами и ресурсом энергосиловой установки, а также определение путей повышения экономичности и производительности МТА при выполнении технологических операций.

Существовавшие предпосылки о “равновесных” состояниях агрегата и трактора на стадии проектирования МТА дали возможность установить наиболее целесообразные параметры машин и их рабочих органов [1]. Однако намечившаяся интенсификация технологических процессов требует учета случайных процессов взаимодействия машин с почвой и динамики МТА. Поэтому, для правильной оценки технологических, энергетических и технико-экономических показателей МТА на пахоте, необходимо проанализировать статистику входных и выходных процессов, установить вероятностно-статистические связи этих процессов.

Существующие теории МТА [2, 3], как научная база разработки и создания лесохозяйственных машин, помимо детерминированных методов исследований и расчетов широко используют методы статистической динамики [4, 5]. Для МТА входным случайным воздействием являются неровности поверхности и физико-механические свойства почвы (влажность, плотность, структурный и

механический состав). При этом выходные нагрузочные, скоростные, технологические и энергетические показатели МТА будут также случайными и могут интегрально выражаться спектральной плотностью и дисперсией реакции, как энергосиловой передачи, так и подвеса рамы. Поэтому необходимы теоретико-вероятностные исследования характеристик почвы с целью их количественной оценки, а также определение спектра частот и дисперсий, интегрально оценивающих качество выполняемых технологических операций, количество затрачиваемой энергии и ресурс энергосиловой установки МТА.

Технико-экономические показатели машины лесного комплекса в значительной мере определяются согласованностью характеристик привода условиям функционирования. На отечественных машинах устанавливаются двигатели, изготовленные для тракторов сельскохозяйственного назначения, где условия функционирования более благоприятные в сравнении с лесными. Специальные двигатели для машин лесного комплекса не выпускаются. В этой связи, на стадии проектирования машины лесного комплекса предъявляются особые требования к выбору типа привода, способного надежно работать при частых сменах нагрузочных и скоростных режимах, а также определению передаточного ряда трансмиссии, обеспечивающего при номинальном запасе мощности двигателя преодоление кратковременных перегрузок без переключения передач. Указанные требования могут быть реализованы путем научно-обоснованного выбора типа двигателя, основных его показателей, передаточного ряда трансмиссии, массы машины. Это позволит повысить эффективность и технико-экономические показатели машины [6].

Библиографический список

1. Чудаков Д. А. Основы теории сельскохозяйственных навесных агрегатов. – М.: Машгиз, 1954.– 384 с
2. Барский И. Б., Анилович В. Я., Кутьков Г. М. Динамика трактора. – М.: Машиностроение, 1973.– 280 с.
3. Кутьков Г. М. Тракторы и автомобили. Теория и технологические свойства.– М.: Колос, 2004.– 504 с.
4. Лурье А. Б. Статистическая динамика сельскохозяйственных агрегатов.– Л.: Колос, 1970.– 376 с.
5. Лурье А. Б. Автоматизация сельскохозяйственных агрегатов.– Л.: Колос, 1967.– 264 с.
6. Горячкин В. П. Собрание сочинений. 2-е изд., т. 1. – М.: Колос, 1968. – 720 с.

Сведения об авторах

ФИО

Власов Евгений Николаевич

Организация

Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес организации	университет имени С.М. Кирова 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	vlasov-en@mail.ru
ФИО	Елифанова Александра Юрьевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Приведены задачи энергетической оценки динамических процессов МТА, снижения энергозатрат и увеличения ресурса энергосиловой установки. Рассмотрены возможные пути повышения эффективности МТА.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, энергозатраты, повышение эффективности, теоретико-вероятностные исследования характеристик почвы.

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Пути уменьшения расхода масла на угар в двигателях машинно-тракторных агрегатов

Власов Е.Н., Елифанова А.Ю.

Расход масла на угар является одним из основных показателей, определяющих экономичность, совершенство конструкции и качество изготовления двигателя машинно-тракторных агрегатов (МТА). Он вызывается рядом причин: испарением масла, утечками, выбросом масла через систему вентиляции, попаданием в камеру сгорания. Последнее является наихудшим случаем [1]. Величина расхода масла зависит от количества масла, вытекающего из подшипников коленчатого вала и разбрызгиваемого за счет сил инерции на гильзу цилиндра ниже поршня для смазывания поршневых колец, отвода тепла и продуктов износа [2]. Количество же вытекающего из подшипников масла зависит от давления в главной масляной магистрали, зазоров, частоты вращения коленчатого вала, температуры и вязкости масла [1].

Основные причины попадания масла в камеру сгорания:

- формирования на поверхности гильзы цилиндра под воздействием поршня и колец пленки масла;
- протекания через замки колец.

Наличие избытка паров масла в топливной смеси замедляет процесс горения, так как температура воспламенения масла, в среднем, на 150°C выше температуры воспламенения рабочей смеси, что приводит к частичному догоранию масла в выпускном коллекторе [3] и, как следствие, повышенному расходу топлива и масла на угар, снижению мощности двигателя.

Для большинства современных автотракторных дизелей рекомендуется давление масла в пределах 0,3...0,5 МПа, для форсированных – выше 0,4...1,2 МПа [4]. В тоже время [5], увеличение давления масла в главной масляной магистрали способствует увеличению расхода масла на угар.

Снижение давления масла в главной масляной магистрали с 0,38 МПа до 0,23 МПа уменьшило расход масла на угар на 0,5% по отношению к расходу топлива [5].

Отсюда вытекает задача определения допустимых значений давления масла в главной масляной магистрали, обеспечивающей минимально возможный износ пар трения и расход масла на угар в широком диапазоне установившихся нагрузочного и скоростного режимов.

Исследования расходов топлива и масла на угар, а также скорости изнашивания пар трения дизелей СМД-18БН и ЯМЗ-238НД5 в неустановившемся режиме показали (при давлении масла в главной масляной магистрали, соответствующем оптимальному для данного типа дизелей), что существует диапазон частот колебаний нагрузки на коленчатом валу, когда расход масла на угар увеличивается в 1,8 раза [6], скорость изнашивания пар трения - в 2,5 раза [7].

На частотах, равных 0,4 Гц – для СМД-18БН и 0,8 Гц – для ЯМЗ-238НД5, максимальная величина давления масла запаздывает по фазе от максимального момента нагрузки на двигатель на 180°. Это значит, что максимальному значению момента нагрузки соответствует минимальное давление масла в главной масляной магистрали и наоборот, это и способствует увеличению скорости изнашивания пар трения и расхода масла на угар при работе двигателя в неустановившемся режиме.

Из выше сказанного следует, что для уменьшения угара масла в двигателях МТА необходимо: выявление допустимых значений давления масла в главной масляной магистрали, при работе дизеля в установившемся режиме; разработка системы регулирования давления масла, соответствующего величине и фазе

колебаний нагрузочного и скоростного режимов двигателя – при работе в переходных режимах.

Библиографический список

1. Мохнаткин Э. М., Беседина Л. Т. Методические основы расчета расхода масла на угар.– Л.: Двигателестроение, 1983, № 6, 7.– С. 9-14.
2. Никифоров О. А., Данилова Е. В. Рациональное использование моторных масел в судовых дизелях. – Л.: Судостроение, 1986. – 86 с.
3. Архангельский В. М., Злотин Г. Н. Работа карбюраторных двигателей на неустановившихся режимах.– М.: Машиностроение, 1979.– 91 с.
4. Венцель С. В. Применение смазочных масел в двигателях внутреннего сгорания.– М.: Химия, 1979.– 240 с.
5. Венцель С. В. Смазка двигателей внутреннего сгорания.– М.: Машгиз, 1963.– 179 с.
6. Антипин В. П., Шевцов А. А., Карпилович А. И. Взаимосвязь расхода топлива и угара масла при работе двигателя в неустановившемся режиме.– Л.: Двигателестроение, 1987, №7.– С. 10-12.
7. Карпилович А. И. Снижение скорости изнашивания и расхода масла на угар путем коррекции давления в системе смазки дизелей лесопро-мышленных машин на неустановившихся режимах работы: дис. ... канд. техн. наук.– Л., 1989.– 221 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 отсутствует
e-mail vlasov-en@mail.ru

ФИО Епифанова Александра Юрьевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д.5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail sandra85-07@mail.ru

Аннотация

Расход масла на угар является одним из основных показателей, определяющих экономичность, совершенство конструкции и качество изготовления двигателя машинно-тракторных агрегатов. Даны основные

причины попадания масла в камеру сгорания. Приведены возможные пути уменьшения угара масла в двигателях МТА.

Ключевые слова: машинно-тракторный агрегат, расход масла на угар, давления масла в главной масляной магистрали

УДК 62-1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.57.00

Об одной особенности вертикальной динамики лесного трактора с колесной формулой 4x4

**Добрынин Ю.А., Кривоногова А.С., Мартынов Б.Г,
Пушков Ю.Л., Спиридонов С.В., Назарова М.**

Введение

В процессе транспортных режимов эксплуатации лесных колесных тракторов важную роль играют его колебания, возникающие от воздействия микрорельефа местности, дорожного пути, а также при преодолении единичных препятствий в виде пней или стволов поваленных деревьев различного диаметра. Отмеченные воздействия определяют скорость передвижения трактора, которую назначает тракторист (оператор) по своим субъективным управленческим решениям, а скорость передвижения трактора непосредственно связана и естественно влияет на его производительность на тракторных операциях.

Вопросу снижения колебаний тракторных средств посвящено множество исследований как по тракторам и автомобилям, так и по дорожной и сельскохозяйственной технике [13, 15]. В большинстве исследований в рассмотрение вводится понятие статической и инерционной симметрии, характеризующееся коэффициентом распределения подрессоренных масс. При значении этого коэффициента $0,8 \div 1,2$, колебания передней и задней части тракторного средства можно рассматривать независимо, а при его значении $0,7 \div 0,8$ и $1,2 \div 1,4$ эта связь протекает весьма слабо [1].

Цели и задачи

В настоящем исследовании рассматривается колебательный процесс лесного трактора с колесной формулой 4×4 в тракторном режиме эксплуатации, когда его динамическая модель соответствует коэффициенту распределения подрессоренных масс $0,8 \div 1,2$, но при этом выявляется существенная и значительная связь между колебаниями передней и задней частями трактора [5, 7, 11].

Методика исследования

Исследования основываются на экспериментальных данных, полученных в процессе лабораторных и производственных испытаний опытного образца лесного колесного трактора [7, 12].

При движении трактора порожняком или когда на трелевке леса он осуществляет холостой ход, его коэффициент распределения подрессоренных масс составляет 0,8, так как в силу специфики его компоновки на переднюю часть трактора приходится большая доля его веса [10], а при движении трактора с пачкой хлыстов (грузовой ход), коэффициент распределения подрессорных масс не превышает величины 1,2, что происходит за счет доли веса пачки хлыстов (деревьев), приходящейся на заднюю часть трактора. Здесь следует отметить, что термин «подрессоренная масса» не совсем точный, поскольку роль упругого элемента играют только пневматические шины [12, 15]. А в пневматических шинах силы неупругого сопротивления очень малы (относительный коэффициент затухания низкий), что существенно не препятствует возникающим свободным собственным колебаниям передней и задней частей трактора, возбуждаемых неровностями пути. Собственные частоты и относительные коэффициенты затухания, полученный путем экспериментальных исследований представлен в таблице 1.

Таблица 1.

Собственные частоты трактора и относительные коэффициенты затухания в пневматических шинах (модель В-31, 15-24)

Давление воздуха в шинах, МПа	Передняя часть			Задняя часть		
	0,4	0,15	0,07	0,4	0,15	0,06
Частота собственных колебаний, рад/с	20,16	15,94	13,00	17,76	14,96	11,93
Относительный коэффициент затухания, б/р	0,067	0,081	0,121	0,054	0,075	0,109

Вынужденные колебания трактора, возникающие в процессе движения способствуют возникновению устойчивых (во времени) собственных колебаний как передней, так и задней части трактора. Это объясняется тем, что относительные коэффициенты затухания в упругих элементах (шинах) весьма малы, его оптимальное значение составляет 0,3 [6, 7, 11, 15].

Из теории механических колебаний [2] известно, что когда частоты системы отличаются незначительно, то возникают биения. Как видно из данных, приведенных в таблице 1, при давлении воздуха в шинах 0,15 МПа их упругие характеристики при соответствующих массах трактора, создают условия близости значений собственных частот передней 15,94 рад/с и задней 14,96 рад/с частей трактора, то есть возникают благоприятные условия для возникновения биения [11, 14, 15].

Для подтверждения выявленных предпосылок был поставлен эксперимент: опытный образец трактора с отмеченными динамическими характеристиками двигался по магистральному волоку с постоянной скоростью 14 км/ч, при этом измерялись его ускорения под передней и задней частями при помощи акселерометров [6, 9]. На основе обработки полученных случайных стационарных процессов ускорений были получены нормированные корреляционные функции. В основу был положен корреляционный анализ нормированной автокорреляционной функции ускорений над задней частью трактора и взаимной корреляционной функции между вертикальными ускорениями в задней и передней частях трактора, при этом обработка записей колебаний для получения корреляционных функций осуществлялась при увеличенном количестве сдвигов.

Результаты и обсуждение исследований

На рисунке 1 представлены нормированные корреляционные функции, полученные в результате статистической обработки результатов записей ускорений в процессе движения трактора. Характер изменения взаимной корреляционной функции указывает на изменяющееся во времени влияние колебаний передней части на заднюю [5, 8, 13].

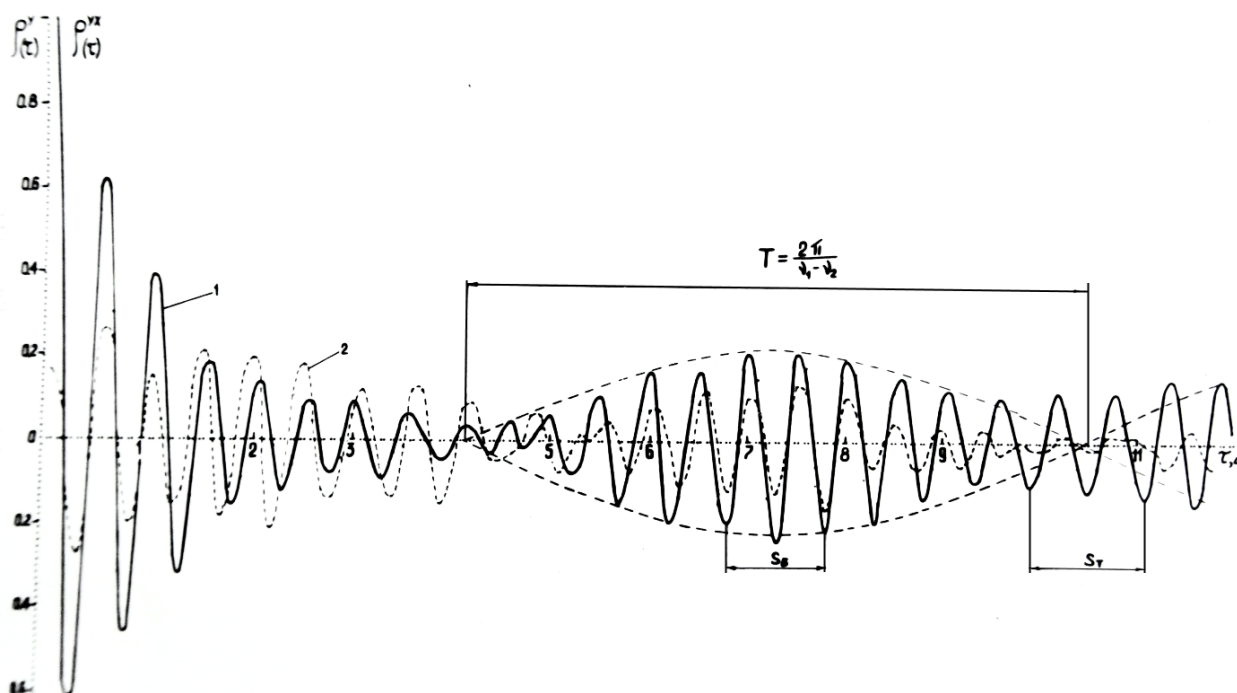


Рис. 1 Нормированная автокорреляционная функция вертикальных ускорений трактора над задней осью – 1 и взаимная корреляционная функция между ускорениями задней и передней частями трактора – 2.

Период биений, определяемый в данном случае по талиям [3], соответствует обратной разнице собственных частот

$$T = \frac{2\pi}{V_1 - V_2} = \frac{2 \cdot 3.14}{15.94 - 14.96} = 6.4 \text{ с}$$

Сравнение этой расчетной величины с периодом огибающих биений (Рис. 1) указывает на их практическое совпадение.

Большой период колебаний корреляционной функции в талии по сравнению с периодом в бугре ($S_T > S_B$) подтверждает то обстоятельство, что частота колебаний передней части трактора выше, чем задней. При движении трактора происходит рост и снижение амплитуды колебаний на одной координате за счет другой [6, 9, 12]. Так, в бугре биение амплитуды колебаний передней и задней части трактора суммируется, в результате чего колебания задней его части возрастают. В талии же, амплитуды колебаний вычитаются и колебания задней части трактора снижаются. Аналогично протекают колебания и передней части трактора [10, 11, 14, 16].

Явление биений устраняется путем увеличения сил неупругого сопротивления в шинах, но для тракторных шин эти возможности весьма ограничены. У автомобилей есть система поддрессоривания, где параллельно с упругим элементом (рессорой) работает гаситель колебаний (амортизатор) и в этой связи биения не проявляются.

Имеется опыт создания колесных тракторов с поддрессориванием его массы и демпфированием в виде сухого трения [4], но он не нашел широкого распространения.

Заключение

При создании лесных тракторов с колесной формулой 4×4 весьма важно обеспечение таких компоновочных параметров при которых обеспечивается статическая и динамическая симметрия, однако надо иметь в виду, что в этом случае есть вероятность сближения собственных частот передней и задней частей трактора [17], а это создает природу возникновения явления биений, проявление которого снижает динамические качества плавности хода трактора и, как следствие, его эксплуатационные характеристики [5-9, 12-16].

Библиографический список

1. Яценко Н.Н., Пругчиков О.К Плавность хода грузовых автомобилей. М.: «Машиностроение», 1969. – 220 с.
2. Ден-Гартог Дж.П. Механические колебания. М.: «Физматгиз», 1960. – 580 с.
3. Мэнли Р. Анализ и обработка записей колебаний. М.: «Машиностроение», 1972. – 368 с.
4. Волошин Ю.Л., Добрынин Ю.А. Исследование плавности хода лесохозяйственного трактора класса 1,4 в производственных условиях. «Тракторы и сельхоз-машины», 1977, №1.
5. Добрынин Ю.А. Моделирование процесса использования передаточных чисел механической трансмиссии трелёвочного трактора // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного

- лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 124-129.
6. Андронов А.В., Пушков Ю.Л. Методика расчета предельных нагрузок на кониковые устройства сортиментовозных автопоездов // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 349-352.
 7. Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. К вопросу об оценке устойчивости гусеничного сортиментовоза // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.
 8. Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. Характеристика отказов лесопосадочных машин // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
 9. Кретинин В.И., Теппоев А.В., Кривоногова А.С. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 38-41.
 10. 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. – 90 с. С. 42-47.
 11. Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации колеччатых валов // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
 12. Пушков Ю.Л., Андронов А.В. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
 13. Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
 14. Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
 15. Пушков Ю.Л. Оценка влияния конструктивных особенностей колесного трелевочного трактора и предмета труда на тормозные свойства трактора // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 175. – СПб.: СПбГЛТУ, 2005.– С. 101-115.
 16. Фам Н.Л., Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019.– С. 66-81.
 17. Parkhomenko G.G., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Rzhavtsev A.A., Reducing the negative impact of undercarriage systems and agricultural machinery parts on soils // IOP Conference series: Earth and environmental science: Earth and Environmental Science. 4th Scientific-Technical

Сведения об авторах

ФИО	Добрынин Ю.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5526-1250
e-mail	dobryninua-ltu@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Мартынов Б.Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1386-2396
e-mail	lesbisnes@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Спиридонов С.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9649-6007
e-mail svslta@yandex.ru

ФИО Назарова М.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail mmu49@mail.ru

Аннотация

Представлен частный случай вертикальной динамики лесного трактора с возникновением явления биений, снижающих его динамические качества. Биения выявлены на основе экспериментальных данных, полученных в результате исследовательских испытаний трактора в производственных условиях с применением корреляционного анализа его случайных колебаний.

Ключевые слова: колесный трактор, вертикальные колебания собственные частоты колебаний, относительный коэффициент затухания, биения, динамические качества.

УДК 630*377

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Оценка ремонтпригодности лесопромышленных тракторов и машин на их базе

Кривоногова А.С., Пушкив Ю.Л., Чураков А.В., Авагян Д.М.

Введение

В настоящее время происходит интенсивное оснащение лесной промышленности многооперационными лесосечными и лесотранспортными машинами, разработаны различные технологические схемы лесозаготовок системами машин. Материальные и трудовые затраты на техническое обслуживание и ремонт лесозаготовительной техники пока не велики и составляют около 32 % от общих трудовых затрат по всему комплексу лесозаготовительных работ. Перед ремонтными предприятиями лесопромышленного комплекса стоит задача повысить эффективность использования лесозаготовительной техники, за счет снижения времени

простоя машин в зоне ремонта и технического обслуживания. Такая задача может быть выполнена только в следствия совершенства конструкции лесозаготовительной машины.

Цели и задачи

Повышение производительности лесозаготовительных машин и оборудования отрасли путем совершенствования методов проведения технического обслуживания и ремонта с учетом показателей надежности.

Методика исследования

Объективная количественная оценка совершенства конструкции лесозаготовительной машины возможна только при наличии отработанного метода и критериев, отражающих все ее постоянство и недостатки. В настоящее время не до конца выработаны такие критерии и методика их определений, в результате чего затруднительно дать сравнительную оценку изделий по надежности в широком диапазоне.

Сравнение лесопромышленных тракторов различного назначения более раннего выпуска с тракторами современных моделей показывает, что повышение их производительности, в основном, связано с увеличением мощности двигателя, увеличение скорости движения и вводом в кинематическую схему дополнительных узлов, но не счет уменьшения времени простоя машины при ее обслуживании и ремонте [3, 4, 11].

Количество операций при проведении технического обслуживания и текущего ремонта современных лесозаготовительных машин неукоснительно растет.

Наличие в машине недолговечных элементов выдвигает в первую очередь проблему оценки ремонтпригодности машин для контроля приспособленности конструкции к восстановлению работоспособности и определения пути снижения трудовых затрат на поддержание машин в исправном состоянии [8, 10].

Согласно известной формулировке ремонтпригодность – это свойство машины, характеризующее ее приспособленность к восстановлению работоспособности за цикл обслуживания с учетом сложности конструкции и применяемых при этом технических средств. Количество оценивается нормативом и коэффициентом ремонтпригодности.

Исходя из задачи улучшения конструкции машин, критерии ремонтпригодности должны базироваться как минимум на трех основополагающих положениях:

1. все факторы, влияющие на ремонтпригодность, должны характеризовать конструктивные особенности машины;
2. все факторы должны отражать технологические особенности машины;

3. все факторы должны характеризовать трудоемкость обслуживания и ремонта.

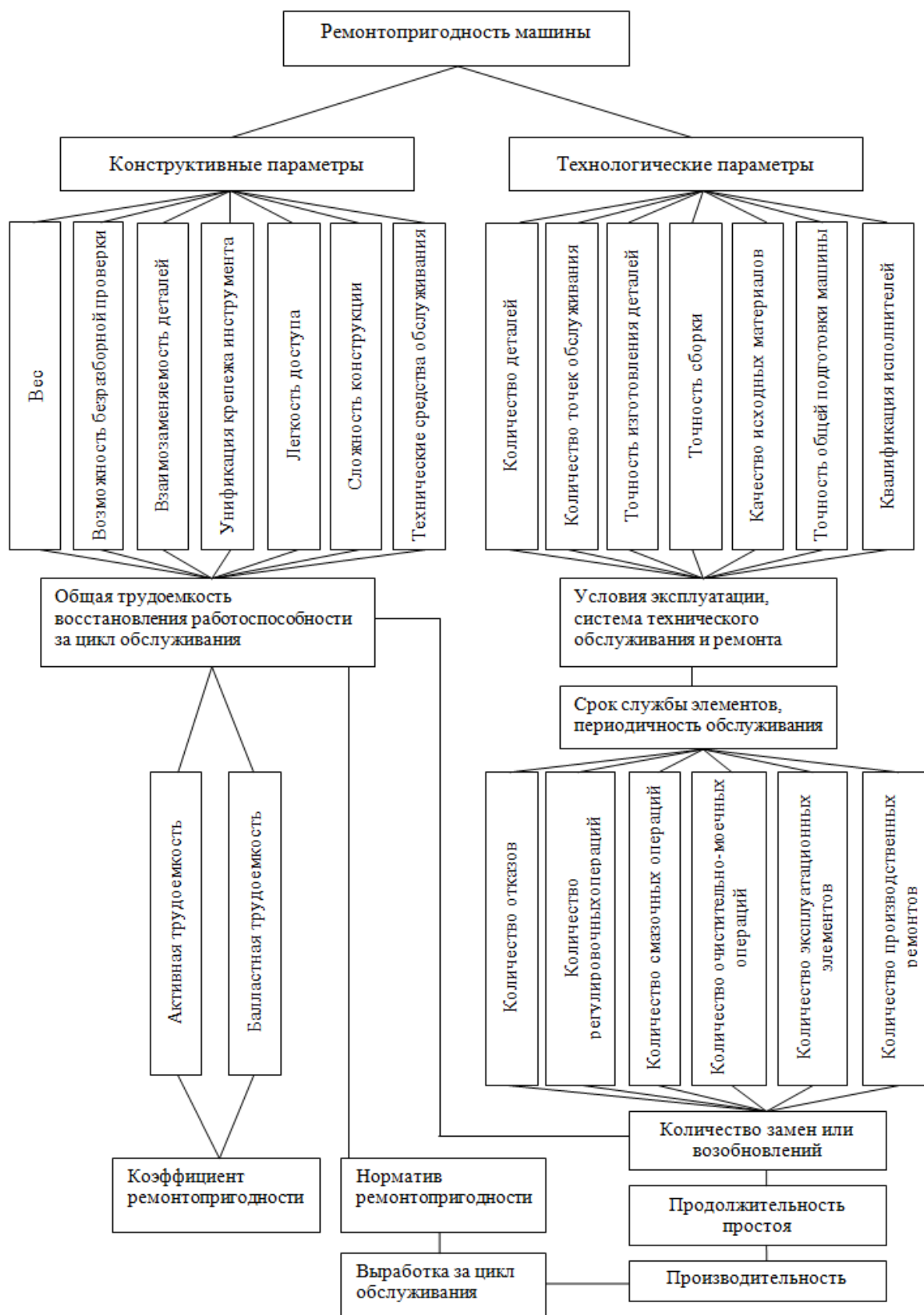


Рис. 1. Схема факторов влияющих на ремонтпригодность машины

На рисунке 1 представлена схема влияния конструктивно-технологических факторов на ремонтпригодность машины. Конструктивные факторы характеризуют изделие, учитывая при этом количество регулировок, точек смазки, легкость доступа к ним и т.п. Технологические – качество обработки элементов, точность сборки, регулировки и т.п. В ходе эксплуатации изделия технологические особенности влияют, как правило, на сроки службы и ресурс элементов. [2, 6, 11]. Следовательно, чем больше точек и частота их обслуживания, тем чаще происходят остановки машины, что увеличивает общие трудозатраты.

Анализируя представленную схему факторов, можно выделить из них основные, которые решающим образом характеризуют машину с конструктивной и технологической стороны и факторы которые могут быть выражены числовыми значениями [7, 5, 9]. Эти факторы должны охватывать основные процессы технических обслуживаний и ремонтов лесозаготовительных машин. Например, вес, возможность безразборной диагностики, унификация крепежа и т.д., воздействуют на ремонтпригодность через трудоемкость соответствующих операций технических обслуживаний и ремонтов [1, 6, 10]. Такие факторы действуют постоянно, каждый в отдельности или в сочетании с другими факторами. Их влияние на ремонтпригодность учитывается через показатели трудоемкости и периодичности обслуживания лесозаготовительных машин [2, 7, 11].

Таким образом, анализ влияния конструктивно-технологических факторов на ремонтпригодность лесозаготовительных машин позволяет выделить некоторые из них:

- 1) количество смазочных операций;
- 2) количество регулировочных операций;
- 3) количество отказов;
- 4) количество очистительно-моечных операций;
- 5) количество эксплуатационных (текущих) ремонтов;
- 6) количество капитальных ремонтов.

Результаты и обсуждение исследований

Выше перечисленные факторы учитывают количество, периодичность и трудоемкость технических обслуживаний лесозаготовительных машин.

Исходя из этого, может быть определен норматив ремонтпригодности (R_n), как отношение средней трудоемкости, потребной на содержание машины в работоспособном состоянии, к наработке за цикл обслуживания:

$$R_H = \frac{\sum_{j=1}^{h+1} \sum_{i=1}^g n_i q_i l(\beta_{iH})}{w},$$

где h – количество всех точек обслуживания; l – вид технического обслуживания; n_i – количество i -го вида технического обслуживания или ремонта за цикл обслуживания; q_{ji} – средняя трудоемкость j -той точки и i -го вида обслуживания, чел.- час.; β_{ji} – разрядный коэффициент; w – наработка за цикл обслуживания, тыс. м³

Отнесение общих затрат к наработке обусловлено тем, что они не могут служить сравнительной оценкой двух машин различных классов. Более производительные машины, как правило, большее количество узлов и агрегатов, что увеличивает трудоемкость обслуживания и снижает безотказность. Как и в какой мере они влияют на показатели ремонтпригодности – все это можно сравнительно оценить только при помощи удельных затрат труда на единицу выработанной продукции. Этот показатель назван нормативом ремонтпригодности. Этот показатель должен фигурировать при проектировании лесотранспортной машины, так как его параметры существенно влияют на производительность машины в целом.

Заключение и выводы

На стадии проектирования лесозаготовительной техники необходимо изначально закладывать в проектную документацию те показатели надежности, которые впоследствии будут непосредственно влиять на показатели надежности машины и производительность труда.

Библиографический список

1. Андронов А.В., Пушков Ю.Л. Методика расчета предельных нагрузок на кониковые устройства сортиментовозных автопоездов // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 349-352.
2. Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. К вопросу об оценке устойчивости гусеничного сортиментовоза // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.
3. Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. Характеристика отказов лесопосадочных машин // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
4. Кретинин В.И., Теппоев А.В., Кривоногова А.С. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 38-41.
5. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений

- подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
6. Парфенопуло Г.К, Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С, Черных Л.Г. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
 7. Пушков Ю.Л., Андронов А.В. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
 8. Фам Н.Л., Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 66-81.
 9. Хитров Е.Г., Котенев Е.В., Андронов А.В., Ильюшенко Д.А., Пушков Ю.Л. О сопоставлении среднего и номинального давления движителя лесной машины на почвогрунт // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 229. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.–С. 185-195.
 10. 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. Вып. 227. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.– С. 236-248.
 11. Parkhomenko G.G., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Rzhavtsev A.A., Reducing the negative impact of undercarriage systems and agricultural machinery parts on soils // IOP Conference series: Earth and environmental science: Earth and Environmental Science. 4th Scientific-Technical Conference on Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education 2019 – Великобритания: Institute of Physics Publishi №315, 2019 – P. 012049

Сведения об авторах

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

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

ФИО Авагян Д.М.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail valod.avagyan@rambler.ru

Аннотация

Осуществлен анализ конструктивных и технологических факторов, влияющих на показатели надежности. Предложен комплексный метод оценки ремонтпригодности с перспективой повышения производительности труда за счет усовершенствования качества конструкции лесозаготовительных машин и оборудования отрасли.

Ключевые слова: производительность труда, показатели надежности, ремонтпригодность.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Статистический анализ результатов исследований моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора

**Чураков А.В., Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С.,
Парфенопуло Г.К., Нарметов Х.**

Введение

Одним из важных факторов влияющего на уровень нагруженности моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора, а также на ее долговечность являются резонансные режимы, которые приводят к ускоренному усталостному разрушению ее деталей и узлов.

Цели и задачи

Целью данной работы является получение регрессионных зависимостей, характеризующие процессы, протекающие в моторно-трансмиссионной установке колесного лесопромышленного трактора при выполнении технологических операций.

Методика исследования

Использование углубленного статистического анализа позволяет получить большой объем информации из ограниченной совокупности экспериментальных данных.

Предварительная статистическая обработка данных проводилась в процессе анализа результатов активного эксперимента. При этом были получены основные параметры выборок: выборочные средние значения показателей и их дисперсии. Эти данные позволили проверить значимость коэффициентов уравнений регрессии, адекватность моделей и т.д. Статистическая обработка проводилась на основании матрицы исходных данных. На основании полученных данных можно судить о близости коэффициента сопротивления движению ψ к нормальному закону распределения [1, 4, 5]. Так, в большинстве случаев примерно равны средние значения, моды и медианы. Кроме того, коэффициенты асимметрии и эксцесса не превышают 2.

Для проведения процесса моделирования воспользуемся математической теорией эксперимента.

На основании рекомендаций [1, 2] аналитическое выражение функции отклика для данного процесса может быть описано в общем виде уравнением регрессии 2-й степени

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^m b_i X_i + \sum_{\substack{ij=1 \\ i \leq j}}^m b_{ij} X_i X_j + \sum_{i=1}^m b_{ii} X_i^2, \quad (1)$$

где b_0 , b_i , b_{ij} , b_{ii} – постоянные коэффициенты (коэффициенты регрессии). Определяются по результатам эксперимента.

Для получения более точных значений коэффициентов регрессии за основу примем центральное композиционное равномер-ротатабельное планирование второго порядка.

Основной целью проведения многофакторного планирования эксперимента является оценка значимости факторов, влияющих на нагруженность моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора и склонность ее к резонансным явлениям [3, 7].

На основе анализа параметров влияющих на нагруженность моторно-трансмиссионной установки и с учетом возможностей, были выбраны следующие исследуемые факторы:

Q – рейсовая нагрузка колесного лесопромышленного трактора;
 ψ – коэффициент сопротивления движения; C – жесткость демпфирующего устройства.

Так как уровни варьируемых факторов в эксперименте имеют различные значения и размерности, чтобы упростить и унифицировать запись условий опытов и облегчить обработку экспериментальных данных, необходимо перейти от натуральных значений факторов к кодированным [4, 6].

В основу эксперимента был заложен равномер-ротатабельный план Бокса-Хантера второго порядка с числом переменных факторов $m = 3$.

Соответствие указанных выше случайных величин нормальному закону проявляется и по критериям χ^2 (Пирсона). Графическая зависимость, представленная на рис.1 подтверждаются близким совпадением экспериментальных точек выравнивающей прямой, отражающей нормальный закон. Таким образом, полученные результаты позволяют считать указанные выше случайные величины распределенными по нормальным законам, что, в свою очередь, позволяет применить процедуры корреляционного и факторного анализа, а также получить уравнение многомерной регрессии.

В результате обработки экспериментального материала, полученного в результате проведения исследовательских испытаний были получены математические модели второго порядка, адекватно описывающие влияние исследуемых факторов на оценочный показатель β .

Уравнения в кодированных переменных имеют вид:

$$\hat{y} = -97,18 - 0,0018 x_1 + 0,088 x_2 + 456,6 x_3 + 0,0074 x_1 x_2 + 0,079 x_1 x_3 + 0,024 x_2 x_3 - 0,07 x_1^2 + 0,08 x_2^2 + 0,0012 x_3^2$$

Гипотезы о значимости групп коэффициентов при членах первого и второго порядков не отвергаются, если выполняются условия:

$$\frac{S_1^2}{S^2\{y\}} > F_\alpha(f^*; f_1) \qquad \frac{S_2^2}{S^2\{y\}} > F_\alpha(f^{**}; f_1) \qquad (2)$$

Подставляя в полученные уравнения значения переменных в натуральных единицах получаем уравнения регрессии в явном виде:

$$\beta = -8613,9 + 2,5 \cdot 10^{-5} Q - 3,62 \cdot 10^{-3} C + 38037 \psi + 2,1 \cdot 10^{-8} Q C + 2,6 \cdot 10^{-3} Q \psi + 0,014 C \psi - 1,12 \cdot 10^{-8} Q^2 + 3,8 \cdot 10^{-6} C + 83,3 \psi^2 \qquad (3)$$

Анализ полученных математических зависимостей позволил сделать вывод о том, что наибольшее влияние на склонность моторно-трансмиссионной установки к резонансу оказывает сопротивление движению трелевочной

системы и жесткость демпфера, в трансмиссии колесного лесопромышленного трактора. Это связано с тем, что мощность, затрачиваемая на генерирование колебаний системы, затрачивается на преодоление сопротивлений движению трелевочной системы [3, 5, 8]. Значительное влияние оказывает условия движения колесной трелевочной системы, так как это сказывается на режимах работы моторно-трансмиссионной установки, используемых передачах и на жесткость трансмиссии.

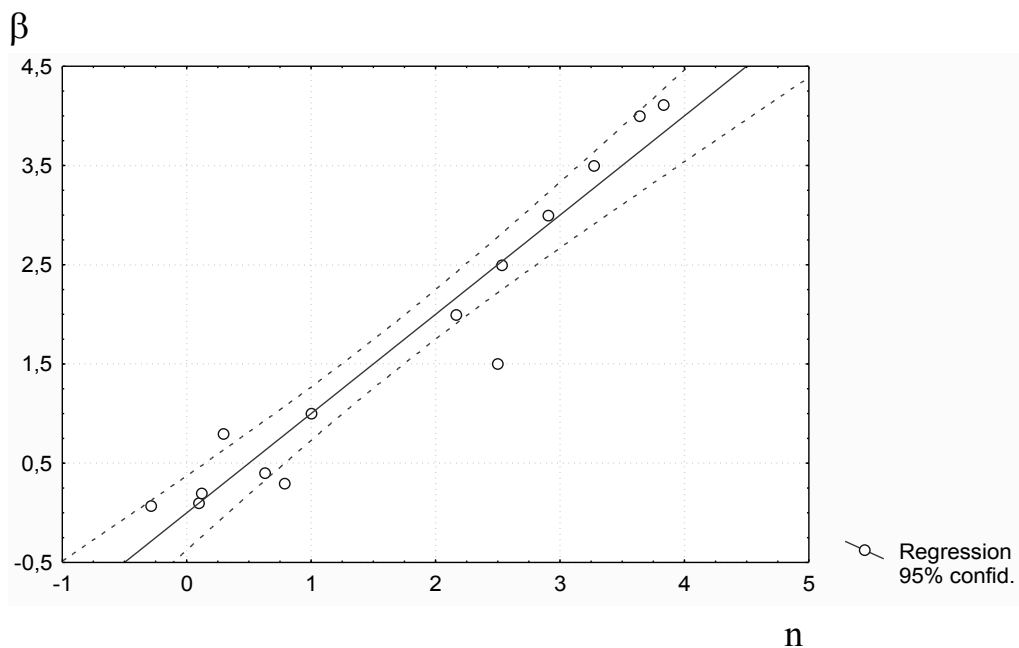


Рис. 1 Экспериментальные данные коэффициента усиления амплитуд и выравнивающая кривая, соответствующая нормальному закону распределения

Заключение выводы

1. Величины параметров, полученные при проведении экспериментальных исследований, соответствуют нормальному закону распределения, что позволяет использовать процедуры корреляционного и факторного анализа.

2. Проведенный многофакторный эксперимент позволил выявить значимость факторов, влияющих на нагруженность моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора и склонность ее к резонансу.

Библиографический список

1. Богданович Н.И. Расчеты в планировании эксперимента. Л.: РИО ЛТА, 1978. 80 с.
2. Планирование эксперимента. /Под ред. Г.К. Круг. М.: Наука, 1966. 425 с.
3. Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. К вопросу об оценки устойчивости гусеничного сортиментовоза // «Леса Россия: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.

4. Кретинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. Характеристика отказов лесопосадочных машин // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.
5. Кретинин В.И., Теппоев А.В., Кривоногова А.С. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 38-41.
6. 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.
7. Парфенопуло Г.К., Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С., Черных Л.Г. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
8. Parkhomenko G.G., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Rzhavtsev A.A., Reducing the negative impact of undercarriage systems and agricultural machinery parts on soils // IOP Conference series: Earth and environmental science: Earth and Environmental Science. 4th Scientific-Technical Conference on Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education 2019 – Великобритания: Institute of Physics Publishi №315, 2019 – P. 012049.

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	отсутствует
e-mail	mex_kn2011@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8399-6121
e-mail krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО Парфенопуло Г.К.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail parfenon73@mail.ru

ФИО Нарметов Х.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

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

Аннотация

Проведена оценка значимости факторов, влияющих на нагруженность моторно-трансмиссионной установки колесного лесопромышленного трактора и склонность ее к резонансным явлениям, при различных режимах эксплуатации.

Ключевые слова: колебание системы, эксперимент, колесный лесопромышленный трактор.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Факторы, влияющие на курсовую устойчивость трелевочного колесного трактора в режиме торможения

Пушков Ю.Л., Кривоногова А.С., Назаров М.

Введение

В последние годы большая часть транспортных операций осуществляется колесными лесопромышленными тракторами, что обусловлено высокой транспортной скоростью, мобильностью, высокой энергонасыщенностью и другими показателями. Однако отсутствие системы поддрессоривания ходовой

части негативно влияет на некоторые эксплуатационно-технические параметры трактора, в частности продольную и поперечную устойчивость, при различных режимах эксплуатации.

Цели и задачи

Целью работы является определение взаимосвязи конструктивных параметров колесного трелевочного трактора с предметом труда и их влияние на устойчивость трактора в процессе торможения.

Методика исследования

Анализ факторов, влияющих на тормозную динамику колесных лесопромышленных тракторов (колебания в продольно-вертикальной плоскости), позволил выделить в качестве исследуемых следующие [6, 9-13]:

- радиальная жесткость шин;
- демпфирование в шинах;
- базу трактора;
- радиус колес;
- коэффициент распределения нагрузки по ведущим мостам трелевочного трактора;
- поступательная скорость трактора в начале торможения.

Оценка вышеперечисленных факторов проводилась путем их варьирования при исследовании системы «колесный трелевочный трактор – пачка – волок» на ПЭВМ для режима торможения [1, 4, 13, 14]. В качестве базовых были приняты параметры колесной трелевочной системы: «ТЛК – 4-01+ пачка деревьев», приведенные в таблице 1.

Таблица 1.

Параметры колесной трелевочной системы

№ п/п	Наименование параметров	Обозначение	Размерность	Величина
1	Эксплуатационная масса трактора	$m_{тр}$	кг	14670
2	Максимальная масса трелеваемой пачки	$M_{п}$	кг	5100
3	Момент инерции трактора относительно оси Y	J_y	кг м ²	4770
4	Коэффициент нормальной жесткости передних и задних шин ($P_w = 0,20$ МПа)	C_1^z, C_2^z	кН/м	1500
5	Коэффициент вертикальной изгибной жесткости пачки деревьев	C_{2n}^z	кН/м	210
6	Коэффициент вертикальной жесткости кроны	C_{3n}^z	кН/м	90
7	Коэффициент продольной жесткости передних и задних шин ($P_w = 0,20$ МПа)	C_1^x, C_2^x	кН/м	600
8	Коэффициент продольной жесткости кроны	C_{3n}^x	кН/м	110
9	Коэффициент демпфирования передних и задних шин в вертикальном направлении	K_1^z, K_2^z	кН с/м	6,0
10	Коэффициент демпфирования пачки в вертикальном направлении	K_{2n}^z	кН с/м	6,6
11	Коэффициент демпфирования кроны в	K_{3n}^z	кН с/м	9,0

	вертикальном направлении			
12	Коэффициент демпфирования передних и задних шин в продольном направлении	K_1^x, K_2^x	кН с/м	7,0
13	Коэффициент демпфирования кроны в продольном направлении	K_{3n}^x	кН с/м	9,5
14	База трактора	L	м	3,25
15	Расстояние от передней оси трактора до его центра масс	l_1	м	1,365
16	Расстояние от задней оси трактора до его центра масс	l_2	м	1,885
17	Расстояние от задней оси трактора до точки подвеса пачкового захвата	l_3	м	1,37
18	Расстояние от точки подвеса пачкового захвата до центра масс трактора	l_4	м	3,255
19	Длина пачки деревьев	l_n	м	25
20	Расстояние от торца пачки до ее центра масс	l_5	м	9,25

Скорость поступательного движения перед началом торможения задавалась в диапазоне 3,0...10,0 м/с.

Радиальная жесткость шин зависит от модели шин, устанавливаемых на трактор, а также от давления воздуха в них [2, 7, 13, 17]. Поскольку применение на трелевочном тракторе шин другой модели влечет за собой пересмотр многих его базовых параметров, будем рассматривать величину продольно-угловых колебаний остова трактора от жесткости шин переднего и заднего ведущих мостов, достигаемых изменением внутреннего давления, ограниченных инструкциями завода-изготовителя, и составляющих интервал от 0,11 МПа до 0,20 МПа [2, 5, 7]. Данному интервалу изменения давления воздуха соответствует интервал изменения радиальной жесткости шины от 450 кН/м до 750 кН/м [15, 16].

Разница в радиусах качения колес различных осей при торможении трактора, вызывает перераспределение тормозного момента между колесами трактора [1, 6].

Для определения радиуса качения шины в тормозном режиме используем уравнение [8].

$$r_k = r_k^0 - \lambda M_T; \quad (1)$$

В случае торможения трактора реализуемый колесами тормозной момент i -оси будет иметь вид:

$$M_{Ti} = \frac{r_i^0 - r_a}{\lambda_i}, \quad (2)$$

где r_i^0 – радиус качения колеса i -ой оси в режиме торможения; r_a – обобщенный радиус колеса; λ_i – коэффициент тангенциальной деформации шины i – оси в режиме торможения; λ – коэффициент тангенциальной деформации шины колеса.

Радиус качения колеса i -ой оси в процессе торможения рассчитывается по формуле:

$$r_i^o = r_{on} - \nu (P_{wOH} - P_{wi}) - \frac{K \sqrt{G_{ki}}}{G + P_{wi}}, \quad (3)$$

где r_{on} – свободный радиус колеса, при нормальном давлении воздуха в шине (P_{wOH}); K , ν – константы тангенциальной деформации шин; P_{wi} – текущие значения давления воздуха в шинах колес i – ой оси, G_{ki} – нормальная нагрузка на колесо в процессе торможения; G – константа, численно равная величине давления внешней среды.

Вертикальные взаимодействия шины с опорной поверхностью достаточно описывается упругим звеном, обладающим жесткостью и демпфирующим сопротивлением [1, 6, 11]. Для определения коэффициента нормальной жесткости шины необходимо знать зависимость между нормальным прогибом шины и ее конструктивными и эксплуатационными параметрами [12, 14].

Используя зависимость, предложенную в работах определим:

$$h_z = \frac{K_z}{1 + P_w} \cdot \sqrt[4]{G_K^3}, \quad (4)$$

где K_z – коэффициент, определяемый экспериментально, числовые значения которого для диагональных шин низкого давления равны 0,41-0,74; для шин с регулируемым давлением 0,45 – 0,74; для широкопрофильных шин 0,25-0,5.

Влияние жесткости шин на уровень продольно-угловых колебаний учитывались для двух основных технологических циклов работы трелевочного трактора: грузового хода и холостого хода [9, 10]. Проведенные расчеты показали, что повышение жесткости шин положительно влияет на снижение уровня продольно-угловых колебаний трактора в процессе торможения, однако при этом наблюдается определенное снижение плавности хода трактора [13].

Результаты и обсуждение исследований

Таким образом, с точки зрения улучшения тормозной динамики трактора целесообразно, при движении на холостом ходу, установление жесткости шин на уровне 750...800 кН/м, что соответствует давлению воздуха в шинах трактора $P_w = 0,18$ МПа. В процессе трелевки деревьев и последующим торможением уровень жесткости шин не так сказывается на уровне продольно-угловых колебаний [5, 12]. Это связано с равномерным распределением нагрузок во время торможения, а значит, и кинематическое рассогласование ведущих мостов уменьшается [7, 11].

Варьирование демпфированием в шинах, что увеличение демпфирующих свойств шин в вертикальной плоскости позволяет снизить уровень продольно-вертикальных колебаний трактора в процессе его торможения при повышении

плавности его хода [6, 12]. Расчеты показывают, что наиболее рациональным значением неупругого сопротивления в шинах является значение $K_i^z = 24,5 \dots 25,0$ кНс/м.

Анализ влияния коэффициента распределения нагрузок по осям колесного трелевочного трактора, определяемого по формуле:

$$K = \frac{N_1}{N_2} \quad (5)$$

где N_1 – статическая вертикальная нагрузка на передний мост; N_2 – статическая вертикальная нагрузка на задний мост. На величину продольно-угловых колебаний показывает, что значительное влияние оказывают усилия, передающиеся остову трактора от трелеваемой пачки древесины [1, 14]: вертикальные и горизонтальные реакции, возникающие в горизонтальном шарнире пачкового захвата, которые в свою очередь зависят от массы трелеваемой пачки и коэффициента сопротивления волочения пачки [13].

Влияние базы трактора на величину продольно-угловых колебаний представлено на рисунке 1.

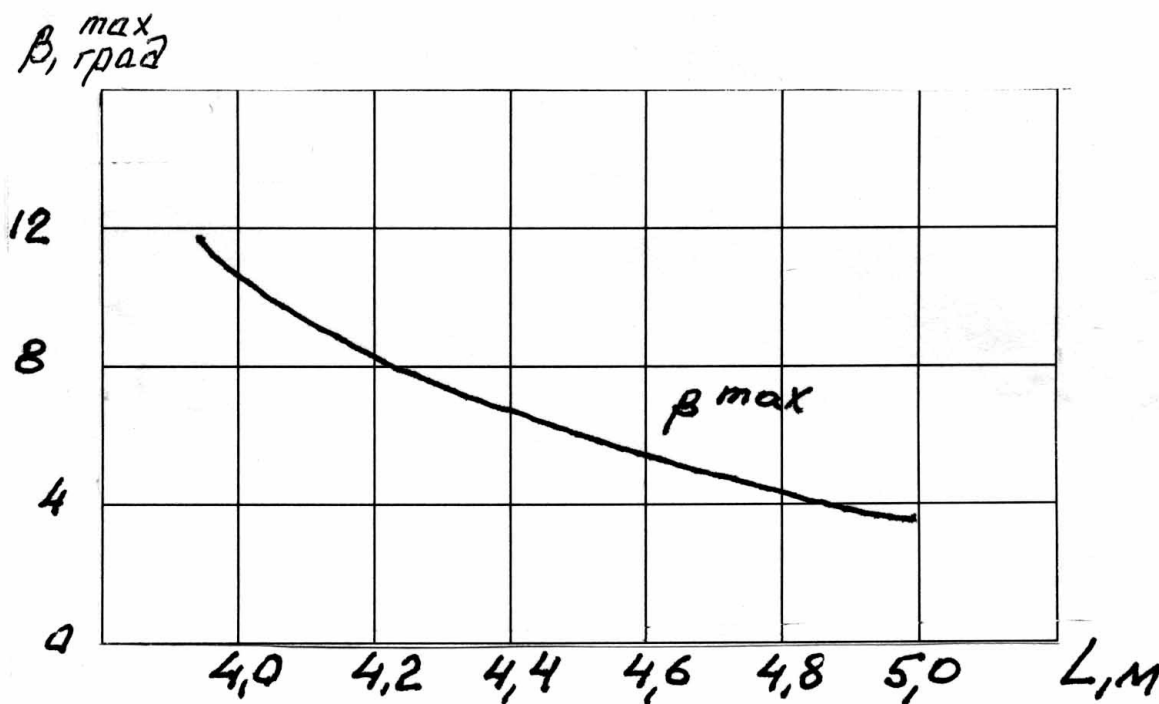


Рис. 1 Зависимость $\beta^{\max} = f(L)$

Результаты исследований по влиянию радиуса колеса на тормозную динамику трактора показывают, что увеличение радиуса колеса приводит к росту уровня продольно-вертикальных колебаний трактора в процессе торможения по причине увеличения высоты центра его масс рис.2.

Снижение радиуса колес трактора ограничено требованиями по его проходимости [13, 17].

Заключение и выводы.

Увеличение базы трактора положительно сказывается на динамике торможения колесного трелевочного трактора, повышая его устойчивость на прямолинейных участках движения. Изменение же радиуса шин имеет ряд ограничения по проходимости и амплитуде продольно-вертикальных колебаний [6, 13].

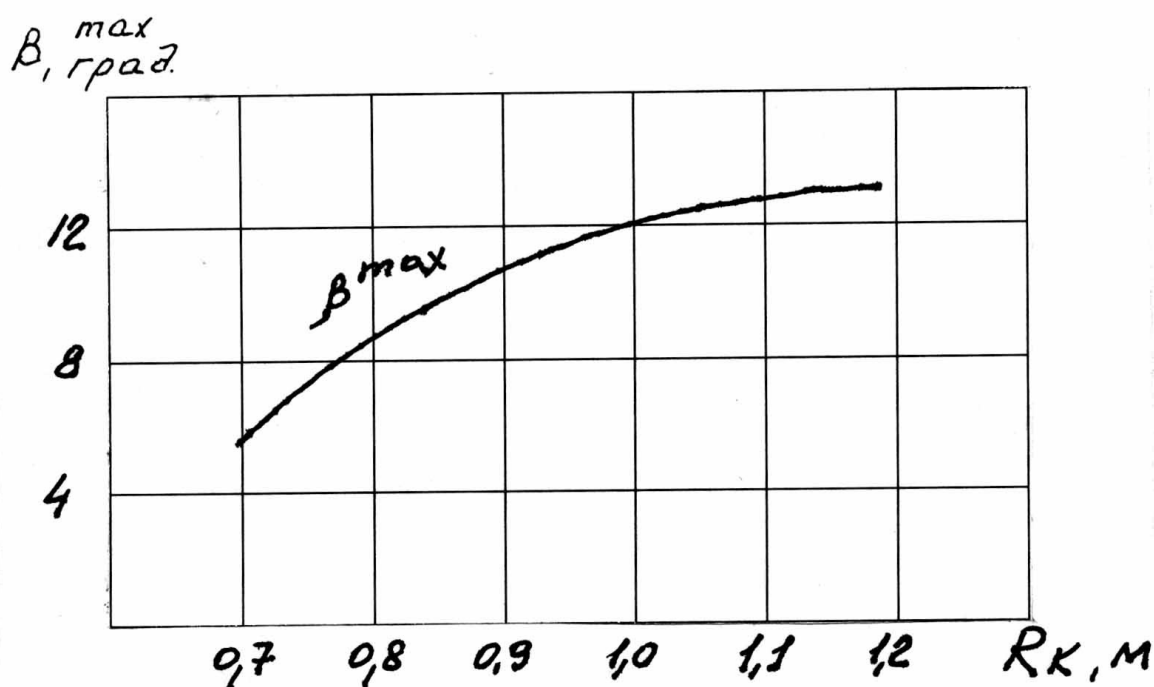


Рис. 2 Зависимость $\beta^{\max} = f(R)$

Библиографический список

1. Андронов А.В., Пушков Ю.Л. Методика расчета предельных нагрузок на кониковые устройства сортировочных автопоездов // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 349-352.
2. Войнаш С.А., Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Марков В.А. К вопросу об оценке устойчивости гусеничного сортировочного автопоезда // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы второй международной научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с. С. 24-27.
3. Крестинин В.И., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Аманов Закир, Родкин С.С. Характеристика отказов лесопосадочных машин // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 236-243.

4. Кретинин В.И., Теппоев А.В., Кривоногова А.С. Повышение надежности рабочих органов лесохозяйственных машин // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 38-41.
5. Кривоногова А.С. Прочностные расчеты элементов конструкций, деталей машин лесозаготовок и лесного хозяйства: учебное пособие по выполнению расчетов для бакалавров направлений подготовки: 13.03.01, 18.03.01, 18.03.02, 20.03.01, 23.03.01, 35.03.02 очной формы обучения / А.С. Кривоногова [и др.]. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 80 с.
6. 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. – 90 с. С. 42-47.
7. Парфенопуло Г.К, Кретинин В.И., Алексеева Е.А., Кривоногова А.С, Черных Л.Г. Выявление наиболее распространенного дефекта, возникающего в процессе эксплуатации коленчатых валов // Материалы третьей международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 2. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 369 с. С. 201-203.
8. Пирковский Ю.В. Некоторые вопросы качения автомобильного колеса // Автомобильная промышленность. 1965. №12. С. 26–29.
9. Пушков Ю.Л., Андронов А.В. Критерии эффективности использования лесозаготовительных машин // «Леса России: политика, промышленность, наука, образование»: Материалы IV научно-технической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449 с. С. 370-372.
10. Пушков Ю.Л., Коряковский И.А. Повышения эффективности тормозной системы колесного лесопромышленного трактора // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 303-307.
11. Пушков Ю.Л., Михайлов О.А., Тарадин Г.С. Взаимодействие колесной трелевочной системы с волоком в режиме торможения // Актуальные вопросы транспорта в лесном комплексе: материалы Всероссийской научно-практической конференции – СПб.: СПбГЛТУ, 2020. – 90 с. С. 61-64.
12. 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.
13. 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.
14. Фам Н.Л., Валяжонков В.Д., Пушков Ю.Л. Вероятностно-статистическая оценка временных режимов совместной трелевки и транспортировки сортиментов тракторным колесным сортиментоподборщиком // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 226. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.– С. 66-81.
15. Хитров Е.Г., Котенев Е.В., Андронов А.В., Ильюшенко Д.А., Пушков Ю.Л. О сопоставлении среднего и номинального давления движителя лесной машины на почвогрунт // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 229. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.– С. 185-195.
16. 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. Вып. 227. – СПб: СПбГЛТУ, 2019.– С. 236-248.

17. Parkhomenko G.G., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Rzhavtsev A.A., Reducing the negative impact of undercarriage systems and agricultural machinery parts on soils // IOP Conference series: Earth and environmental science: Earth and Environmental Science. 4th Scientific-Technical Conference on Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education 2019 – Великобритания: Institute of Physics Publishi №315, 2019 – P. 012049.

Сведения об авторах

ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Назаров М
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	murat.nazarov567@gmail.com

Аннотация

Приведен анализ влияния факторов влияющих на тормозную динамику колесных лесопромышленных тракторов (колебания в продольно-вертикальной плоскости) с учетом их конструктивных особенностей.

Ключевые слова: тормозная динамика, жесткость шины, база трактора, продольно-поперечная устойчивость.

УДК 62-2:62-94+62-97/-98

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.17.15, 66.17.99

Оценка качества поверхности после вакуумно-дуговой очистки перед нанесением газотермических покрытий

**Кретинин В.И., Теппоев А.В., Ефанов В.А.,
Третьякова Е.Ю., Фасахудинов В.В.**

Введение

В качестве наиболее распространенных методов подготовки поверхности перед нанесением покрытий применительно к изделиям машиностроения является химическая или пескоструйная (дробеструйная) обработка. В связи с наличием существенных недостатков, присущих данным методам, и в первую очередь связанных с экологическими проблемами, длительные годы ведется поиск альтернативных технологий. В последние годы в качестве такой альтернативы активно развивается и предлагается вакуумно-дуговая очистка поверхности. Использование совершенно новой вакуумно-дуговой технологии очистки материалов от окалины и ржавчины позволяет исключить ряд операций, которые используются при травлении металла в растворах кислот, и обеспечить экологичность производственного процесса. Данный способ относится к области очистки металлических поверхностей изделий в вакууме на различных этапах технологического процесса, в частности для удаления с поверхностей изделий оксидных пленок (окалины, ржавчины), технологических смазок, покрытий и других загрязнений.

Цель исследования

Произвести оценку качества поверхности ступицы УРАЛ-4320 после вакуумно-дуговой очистки (ВДО) для последующего газотермического нанесения покрытий в рамках восстановительного ремонта.

Методика исследования

Установлено, что соединение напыляемого покрытия с основой определяется химическим взаимодействием, силами межмолекулярного взаимодействия и механическим зацеплением. В связи с этим существенное влияние оказывают состав и структура основного материала; параметры шероховатости, основные механические характеристики приповерхностного слоя, твердость, плотность, теплофизические свойства, величина и знак остаточных напряжений, толщина и свойства оксидной пленки и адсорбированных слоев, наличие и основные характеристики промежуточных подслоев.

Предварительная обработка поверхности основы является одним из основных факторов обеспечивающих высокую прочность сцепления покрытия с основой, т.к. в большинстве случаев соединение напыленного покрытия с материалом детали происходит в результате механического сцепления.

Следовательно, для того, чтобы напыляемые частицы, которые ударяются и деформируются об основу, прочно сцеплялись с напыляемой поверхностью, основа должна иметь оптимальную шероховатость.

Необходимо отметить, что обеспечение требуемой шероховатости напыляемой поверхности не снимает такие вопросы подготовки поверхности как промывка, удаление влаги, масла, а также окисной пленки.

В качестве исследуемого материала в данной работе выбрана ступица колеса ведущего моста автомобиля УРАЛ 4320 (Рис. 1). Ступица колеса автомобилей семейства УРАЛ изготавливается из чугуна КЧ 35-10 твердостью НВ 163 (ГОСТ1215-79).

В рамках исследования применения ВДО при газотермическом напылении была произведена очистка сегментов ступицы (Рис. 2). За критерий качества обработки поверхности рассматриваем ее шероховатость в зависимости от плотности заряда.

Очистка сегментов ступицы колеса осуществлялась на территории НПП ООО «ФАКТОРИЯ ЛС» в ионно-плазменном отделении.

Для исследования измерений параметров профиля и параметров шероховатости поверхности применялся Perthometer M1.

Результаты исследований

В таблице 1 представлены результаты исследований.

Таблица 1.

Результаты исследований

Номер измерения	Шероховатость Ra, мкм	Плотность заряда γ , Кл/см ²
1	0,63	5
2	0,62	7
3	1,25	7
4	1,25	9
5	2,5	9
6	2,57	15
7	5	15
8	5,1	20
9	10	20
10	9,8	30

Как видно из таблицы 1, увеличение плотности заряда повышает шероховатость поверхности. Для оценки взаимосвязи между режимом очистки и показателями качества материала, в нашем случае – это шероховатость, был применен корреляционный анализ. На основе данных из таблицы 1 построено поле корреляции для пары данных «шероховатость – поверхностная плотность заряда дуги».



Рис. 1. Ступица колеса автомобиля УРАЛ-4320



Рис. 2. Образцы исследований



Рис. 3. Perthometer M1

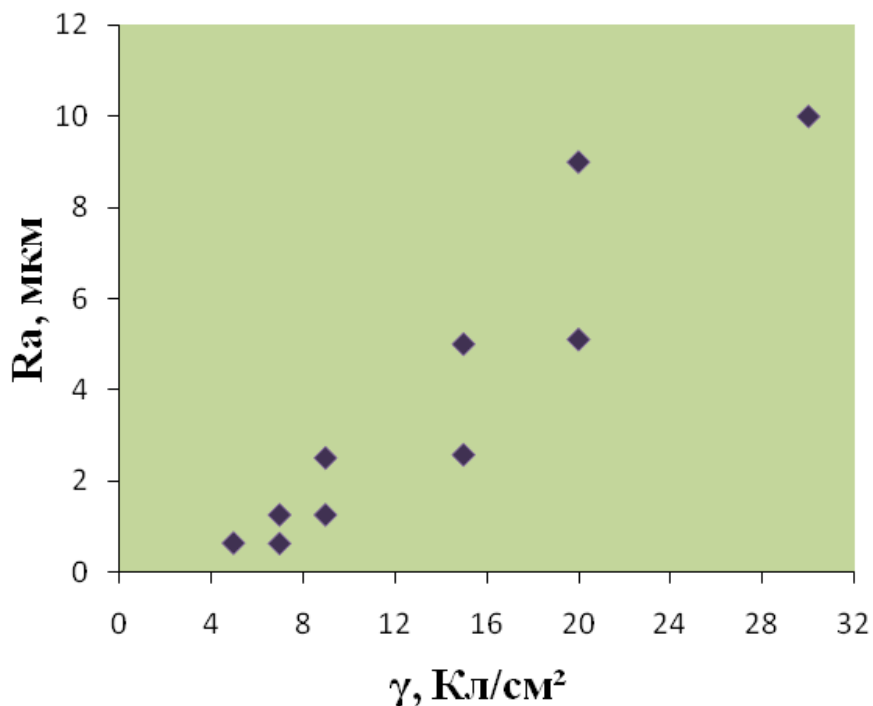


Рис. 4. Диаграмма разброса показателей

Из рисунка видно, что между показателями существует положительная линейная корреляционная связь, тесноту которой можно оценить с помощью коэффициента корреляции Пирсона r :

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2} \cdot \sqrt{\sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (1)$$

где x_i и y_i – значение первого и второго параметра соответственно; \bar{x} и \bar{y} – среднее значение первого и второго параметра соответственно.

Если $r = 1$ или $r = -1$, то между случайными величинами X и Y существует линейная функциональная зависимость ($Y = c + dX$). В этом случае говорят о полной корреляции. При $r = 1$ значения x_i, y_i определяют точки, лежащие на прямой линии, имеющей положительный наклон (с увеличением x_i значения y_i также увеличиваются), при $r = -1$ прямая имеет отрицательный наклон.

Для оценки линейной связи между показателями применяют коэффициент корреляции Пирсона, вычисляемый по формуле (1). При малом объеме выборки ($n < 100$) значение коэффициента необходимо корректировать по формуле:

$$r^l = r \left[1 + \frac{1 - r^2}{2(n - 3)} \right] \quad (2)$$

Из формулы (1) видно, что для вычисления r необходимо найти средние значения признаков X и Y , а также отклонения каждого статистического данного от его среднего $(x_i - \bar{x}), (y_i - \bar{y})$. Зная эти значения, находят суммы $\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y}), \sum (x_i - \bar{x})^2, \sum (y_i - \bar{y})^2$. Результаты вычислений представлены в таблице 2.

Таблица 2

Данные для определения коэффициента корреляции

x	y	$x_i - \bar{x}$	$(x_i - \bar{x})^2$	$y_i - \bar{y}$	$(y_i - \bar{y})^2$	$(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y})$
0,63	5	-3,16	10,00	-8,70	75,69	27,51
0,62	7	-3,17	10,06	-6,70	44,89	21,25
1,25	7	-2,54	6,46	-6,70	44,89	17,03
1,25	9	-2,54	6,46	-4,70	22,09	11,95
2,5	9	-1,29	1,67	-4,70	22,09	6,07
2,57	15	-1,22	1,49	1,30	1,69	-1,59
5	15	1,21	1,46	1,30	1,69	1,57
5,1	20	1,31	1,71	6,30	39,69	8,24
9	20	5,21	27,12	6,30	39,69	32,81
11	30	6,21	38,54	16,30	265,69	101,19
$\bar{x} = 3,79$	$\bar{y} = 13,7$		$\Sigma = 104,98$		$\Sigma = 558,10$	$\Sigma(x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) = 226,04$

Подставив результаты вычислений в формулу (1), получим:

$$r = \frac{226,04}{\sqrt{104,98} \cdot \sqrt{558,10}} = 0,93$$

Ввиду оценки корреляции по выборке малого объема ($N=10$ меньше 100) необходима поправка по формуле (2):

$$r^l = 0,93 \left[1 + \frac{1 - 0,93^2}{2(10 - 3)} \right] = 0,94$$

Полученное значение коэффициента корреляции находится в пределах от 0,7 до 0,99, что говорит о наличии высокой степени взаимосвязи между парой «шероховатость – поверхностная плотность заряда дуги». С увеличением поверхностной плотности заряда дуги увеличивается шероховатость. Данный факт дает возможность добиваться той шероховатости, которая позволит обеспечить необходимую прочность сцепления для различных покрытий. Для оценки прочности сцепления при газотермическом напылении покрытия с металлической поверхностью после ВДО необходимы дополнительные исследования.

Выводы

1. Выявлено, что в процессе обработки наблюдается повышение значений параметров шероховатости, в том числе в 2,5 раза возросло значение

количества выбросов на 1 см, характеризующего адгезионную способность поверхности.

2. Корреляционный анализ подтвердил тесную взаимосвязь режима очистки с шероховатостью поверхности (параметр качества) исследуемого материала.

3. Очистку можно осуществлять на изделиях любых геометрических размеров, как простой, так и сложной геометрической формы. Нужна соответствующих размеров вакуумная камера. В ряде случаев вакуумной камерой может быть само изделие, например, ступица (при очистке их внутренней поверхности).

Библиографический список

1. Кузнецов В.Г., Курбанов Т.А., Крымов Д.В. и др. Восстановление формы пластически деформированной поверхности под действием обработки катодными пятнами вакуумно-дугового разряда // Вакуумная техника и технология. – 2014. – Том 23. – № 1. – С. 78-81.
1. Кузнецов В.Г., Пониматкин В.П., Курбанов Т.А. Вакуумно-дуговая обработка поверхности изделий железнодорожного транспорта // Труды 10-й Международной конференции “Пленки и покрытия-2011”, Санкт-Петербург. 2011. С. 10-16.
2. В.Н. Арустамов, Х.Б. Ашуров, Х.Х. Кадыров, И.Х. Худойкулов. Комплексная технология вакуумно-дуговой обработки поверхности конструкционных материалов // Журнал технической физики, 2015, том 85, вып. 8. С.104-109.
3. Кретинин В.И., Марков А.Н., Марков В.А. Перспективные способы восстановления деталей лесных машин.// Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, Вып.179, 2007г. С.116-129.
4. Кретинин В.И., Соколова В.А., Марков В.А. Исследование влияния подготовки поверхности на качество газотермического покрытия.// Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, Вып. 221, 2017 г. С.218-228.

Сведения об авторах

ФИО	Кретинин В.И.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4424-8046
e-mail	kvi_1960@mail.ru
ФИО	Теппоев А.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	4451-4059
e-mail	avt01@inbox.ru

ФИО	Ефанов В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	regionspb@list.ru
ФИО	Третьякова Е.Ю.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	npfantest@yandex.ru
ФИО	Фасахудинов В.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	fas.vlad.spb@ya.ru

Аннотация

Приведена оценка применения совершенно новой вакуумно-дуговой технологии очистки материалов от окалины и ржавчины. Оценена возможность применения данной технологии для ремонта машин и механизмов лесозаготовительной промышленности.

Ключевые слова: очистка металлов, шероховатость поверхности, вакуумно-дуговая технология.

УДК 624*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 81.01.81

Анализ технологии цинкирования как современного способа антикоррозийной обработки металлических поверхностей

Дейс А.Д., Иванова И.В.

Введение

Коррозия трубопроводов тепловой сети (ТС) является одним из основных факторов, определяющих надежность эксплуатации систем теплоснабжения. Наружная, внутренняя, двусторонняя коррозия значительно сокращают ресурс эксплуатации трубопроводов.

В СНиП 41-02-2003 «Тепловые сети» устанавливается только «скорость наружной коррозии труб, которая не должна превышать 0,03 мм/год», поскольку считается, что в ТС внутренняя коррозия должна отсутствовать за счет надлежащего качества химводоподготовки [1].

Наружная коррозия всегда на виду. Достаточно провести шурфовку, вскрыть канал, удалить покрывные слои и становятся явными: нарушения, выполненные при монтаже и строительстве; затопление канала; близость расположения недостаточно изолированных подземных коммуникаций (кабелей и пр.). Как правило, коррозия и причина, вызвавшая ее, всем очевидны.

Все обстоит гораздо сложнее при развитии внутренней коррозии металла трубопроводов. Чаще всего ее фиксируют, когда уже возник порыв. Надо иметь убедительные факты, чтобы вырезать катушку из трубопровода с удовлетворительным состоянием строительных конструкций, с неповрежденным наружным антикоррозионным слоем.

Внутренняя коррозия, как и наружная, может быть локальной и сплошной. Причины, вызывающие сплошную внутреннюю коррозию, различны. Наиболее частыми причинами являются: неудовлетворительное качество химводоподготовки или «подсос» в тепловую сеть сырой воды, а так же развитие стояночной коррозии.

Развитие локальной внутренней коррозии в значительной мере зависит от коррозионной стойкости сталей, применяемых для изготовления труб, и определяется чистотой металла по коррозионно-активным неметаллическим включениям (КАНВ). Эти включения имеют сложный состав, но, как правило, содержат кальций [2].

Коррозионные пятна и язвы локализуются по местам скоплений КАНВ. Тепловые и гидравлические удары при проведении гидравлических испытаний около скоплений КАНВ могут привести к коррозионному растрескиванию и развитию микротрещин в полноценные порывы.

Цели и задачи

Целью работы является проанализировать новое направление в области антикоррозийной обработки – цинкирование; произвести исследование преимуществ этого способа обработки поверхности металла и анализ технологического процесса цинкирования металлических поверхностей.

Методика исследования

Цинкирование – это процесс покрытия металла (железа или стали) слоем цинка для защиты от коррозии путем нанесения цинкирующего состава. К числу основных преимуществ цинкирующего состава [3] можно отнести:

- тонкопленочное цинковое покрытие, эффективно защищающее черные металлы от коррозии, обладающее высокими защитными свойствами и высокой адгезией (сцепление поверхностей разнородных твердых и/или жидких тел. Она обусловлена межмолекулярными взаимодействиями в поверхностном слое к металлическим поверхностям;
- эластичен, устойчив к вибрационным, ударным нагрузкам и к истиранию, работает в интервале температур от $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ (кратковременно до $+180\dots 210\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нанесении порошковых покрытий);
- обеспечивает одновременно активную (катодную) и пассивную (барьерную) защиту от коррозии;
- предназначен для антикоррозионной защиты наружных и внутренних поверхностей промышленного оборудования и металлических конструкций.

Наряду с этим можно отметить и дополнительные отличительные особенности этого метода [3]:

- образование стабильной субдисперсионной Zn-Fe зоны на поверхности металла, рис. 1;
- межслойная диффузия;
- самоконсервация и самосохранение в течение длительного срока службы;
- отличительная стойкость к абразивному воздействию;
- наносится даже зимой при $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

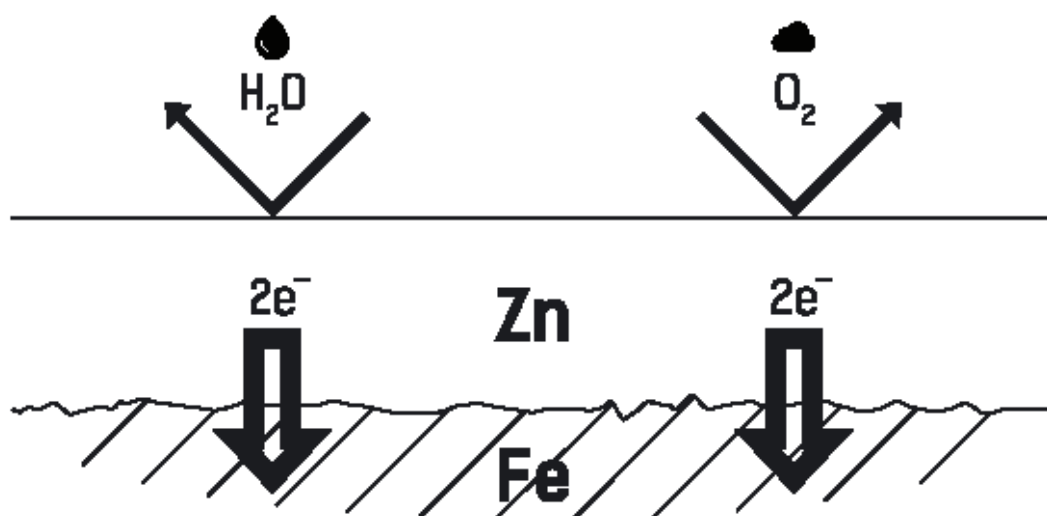


Рис. 1. Образование субдисперсионной Zn-Fe зоны на поверхности металла

Однако цинкирование, в отличие от цинконаполненных лакокрасочных материалов ЛКМ (холодного цинкования), не требует перекрытия финишными слоями, благодаря уникальному запатентованному полимеру, который обеспечивает катодную защиту цинка на протяжении всего срока службы. При этом, применяется как самостоятельное покрытие, по аналогии с горячим цинкованием, но при необходимости, может использоваться как грунт под различные ЛКМ и огнезащитные материалы. Не разрушается под действием УФ-излучения. А также применяется: для защиты крупногабаритных, полых, тонкостенных, сваренных внахлест изделий; во всех типах сред коррозионной

активности, включая агрессивные и сильноагрессивные, обеспечивая гарантированный (при соблюдении правил нанесения защитного слоя) срок защиты от 15 лет и более при толщине слоя от 120 мкм. Применяется для защиты строительных и технологических металлоконструкций в промышленном и гражданском строительстве, сельском хозяйстве, на объектах ТЭК, в дорожном и транспортном строительстве, в гидросооружениях.

Рекомендуется для ремонта и восстановления ранее оцинкованных (в том числе и другими методами) металлоконструкций без демонтажа.

Исследования показывают [3], что цинкирующий состав легко совместим с большинством органорастворимых финишных покрытий. Гарантировано совместим с полиуретановыми, уретан-акриловыми, акриловыми, эпоксидными, хлорвиниловыми, хлоркаучуковыми, алкидными покрытиями. Для наилучшей совместимости после нанесения цинкирующего состава необходимо подождать 4...5 часов, чтобы растворитель улетучился и не препятствовал адгезии с финишным покрытием. Возможно использование в качестве грунта под порошковые краски. Но следует отметить, что покрытие не устойчиво в бензине и других органических растворителях, поэтому его следует перекрывать финишным слоем, устойчивым к среде [3].

В процессе исследования нового антикоррозионного материала можно выделить основные стадии технологического процесса. Процесс нанесения цинкирующего состава рекомендуется осуществлять при температуре окружающего воздуха не ниже $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$. Но при этом, при выполнении работ по антикоррозионной защите в зимнее время на открытом воздухе, необходимо:

- сооружение навесов или укрытий для защиты от осадков;
- температура поверхности металла должна быть не менее, чем на $+3\text{ }^{\circ}\text{C}$ выше точки росы.

Технологический процесс можно разбить на стадии:

1. подготовка поверхности к нанесению цинкирующего состава;
2. приготовление рабочего состава для нанесения;
3. нанесение цинкирующего состава;
4. послойная сушка состава;
5. контроль качества цинкирующего состава;
6. окончательная выдержка цинкирующего состава перед вводом в эксплуатацию.

При рассмотрении этого способа антикоррозионной защиты особый акцент делается на подготовке поверхности и на нанесении цинкирующего состава. Все части изделий, подлежащие защите, должны быть доступны для осмотра, подготовки поверхности, нанесения защитного покрытия и контроля его качества. Поверхность изделия, подлежащая подготовке перед нанесением покрытия, не должна иметь заусенцев, острых кромок (радиусом менее 0,3 мм), сварочных брызг, наплывов пайки, прожогов, остатков флюса. Места сварки не

должны иметь скрытых для доступа щелей, полостей. При наличии масляных, жировых и других загрязнений поверхность очищается с помощью моющих средств.

Перед нанесением цинкирующего состава металлическую поверхность следует подготовить:

- 1) новая сталь (металлопрокат) при наличии плотно держащейся окалины – подвергнуть пескоструйной обработке до степени 2 по ГОСТ 9-402 и обезжирить;
- 2) новая сталь (металлопрокат) при отсутствии окалины – обезжирить;
- 3) старая заржавевшая поверхность – рыхлая ржавчина удаляется ручным или механическим способом, или пресной водой под высоким давлением 10...20 МПа, затем поверхность обезжиривается;
- 4) ранее оцинкованная поверхность – загрязнения и верхний слой солей цинка удаляется ручным или механическим способом (водой под высоким давлением 10...20 МПа), затем обезжиривается;
- 5) ранее окрашенная поверхность – краску необходимо удалить химическим способом, смывкой (ручным, механическим способом или водой под сверхвысоким давлением 175...275 МПа), затем поверхность обезжиривается.

При механической обработке поверхности шлифкругами или шлифовальной шкуркой вручную, зернистость абразива должна быть в диапазоне от 5 до 6 по ГОСТ 3647-71, либо от 180 до 220 по европейскому стандарту FEPA. После использования ручного и механических методов очистки поверхность обеспыливается. Не допускается наличие необработанных участков. Используемый для очистки сжатый воздух должен быть сухим, чистым и соответствовать ГОСТ 9.010-80. При обезжиривании поверхности небольшими участками необходимо обрабатывать чистой кистью, смоченной в растворителях. Рабочий состав наносится на очищенную и обезжиренную поверхность не позднее, чем через 12 часов, если металлические поверхности находятся на открытом воздухе и 48 часов, если в помещении. Рекомендуется не только для нанесения на металлические поверхности труб, но и на металлоконструкции, находящиеся на открытом воздухе или закрытом помещении. Рекомендуется нанесение кистью или валиком (при небольших поверхностях); методом пневматического распыления; безвоздушного распыления; методом окунания или из аэрозольного баллона. Рабочий состав должен в процессе нанесения любым способом периодически перемешиваться (через 20...30 мин). Материал необходимо наносить послойно, перекрывая кромку ранее нанесённой полосы.

Общая толщина покрытия должна быть минимум 40 мкм, максимум – 160 мкм. При нанесении на конструкции, чьи механические деформации незначительны, можно увеличить максимальную толщину покрытия до 200 мкм, Все работы по нанесению цинкирующего состава проводятся при температуре от -35 °С до + 50 °С и относительной влажности до 90%.

Состав можно наносить на влажную поверхность. При этом на поверхности не должно быть влаги в виде капель, а при отрицательных температурах нанесения исключить наличие корки льда. Рекомендуется использовать навесы при нанесении покрытия в условиях осадков. Именно точно разработанная технология применения позволяет качественно подходить к вопросам современных антикоррозионных обработок поверхностей в любое время года. Все этого конечно делает этот способ конкурентоспособным на рынке антикоррозионных технологий.

Выводы

Коррозия трубопроводов и металлических поверхностей, в частности в теплогенерирующих установках (ТГУ), это актуальная проблема, стоящая перед решением ряда непростых вопросов. Выбор современных и долговечных способов антикоррозионной защиты металлических поверхностей является приоритетной задачей в комплексе мер по безопасным и аварийным работам ТГУ.

Цинкирование – это процесс покрытия металла слоем цинка для защиты от коррозии путем нанесения цинкирующего состава. Ряд существенных преимуществ и простота технологического процесса его применения ставит его в один линейный ряд с современными способами борьбы с коррозией.

Библиографический список

1. СНиП 41-02-2003 Тепловые сети. – М.: Госстрой России, 2004.
2. *Шарапов, А.А.* Повышение коррозионной стойкости сталей для труб тепловых сетей путем обеспечения чистоты по коррозионно-активным неметаллическим включениям/ А.А. Шарапов [и др.] // Новости теплоснабжения. 2005. № 9. С. 41-45.
3. Цинкирование / Официальный сайт [Электронный ресурс]: интернет-сайт <http://www.zinker.ru/>

Сведения об авторах

ФИО	Дейс А.Д.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	2723-8008
e-mail	sashalepeskin@rambler.ru
ФИО	Иванова И. В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код

9424-7866

e-mail

irenalta@mail.ru

Аннотация

Проведен анализ современного антикоррозийного способа для металлических поверхностей и конструкций различного назначения – цинкирования. Преимущества этого способа и технологического процесса нанесения делает его конкурентоспособным на рынке антикоррозийной обработки.

Ключевые слова: коррозия; металлические поверхности; цинкирование; антикоррозийная обработка; corrosion; metal surfaces; zinc plating; anti-corrosion treatment.

УДК 620.19

Раздел рубрикатора ГРНТИ: 81.33.41

Методика оценки статической прочности шарнирных соединений лесных машин с использованием программного обеспечения «ANSYS»

Зверев И.А., Трофимов А.В.

Введение

Всё больше отечественных и зарубежных машиностроительных предприятий активно внедряют системы автоматизации инженерных расчетов (CAE-системы). Программные продукты, обеспеченные вычислительной техникой, позволяют при помощи численных методов проводить оценку поведения компьютерной 3-D модели объекта в различных условиях нагружения.

Применение CAE-систем даёт возможность значительно повысить производительность инженерного труда за счет: встроенных в программу библиотек материалов (базы данных); автоматизированного проведения расчетов; удобства хранения, представления и передачи информации.

Системы автоматизации актуальны и в лесном машиностроении, в частности при оценке статической прочности шарнирных соединений лесных машин – одного из основных элементов технологического оборудования.

Цель работы. Подготовка методики оценки статической прочности объекта с использованием программного обеспечения «ANSYS».

Объект работы – шарнирное соединение гидравлического цилиндра привода стрелы гидроманипулятора.

Основные сведения. Программное обеспечение «ANSYS» используется для решения следующих задач (рис.1).

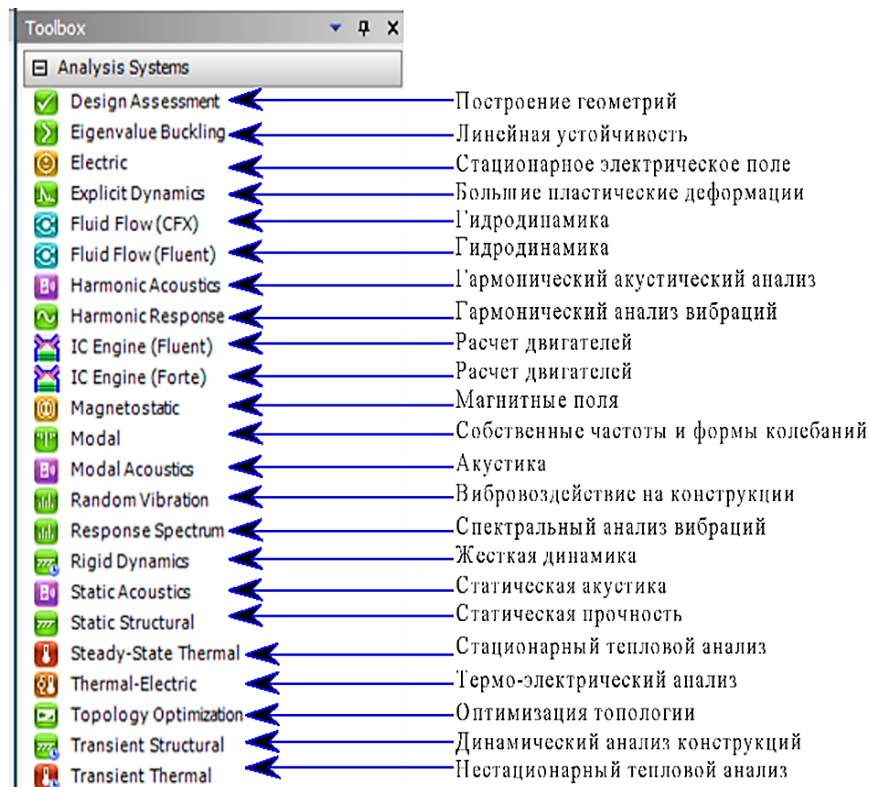


Рис. 1. Типы решаемых задач

Под статической прочностью («Static Structural» - статическая структура, англ.) понимают способность детали сопротивляться разрушению под действием кратковременных максимальных нагрузок.

Условие прочности объекта представлено неравенством (1)

$$\sigma_{\text{ЭКВ}} \leq \sigma_{\text{T}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{\text{ЭКВ}}$ – расчетное значение эквивалентного напряжения в наиболее нагруженном сечении, МПа; σ_{T} – предел текучести материала, МПа.

Эквивалентное напряжение – расчетная величина, характеризующая совокупность напряжений, возникающих во множестве площадок, которые проходят через рассматриваемую точку.

Существует два взгляда на методику определения эквивалентных напряжений – гипотеза Треска-Сен-Венана и гипотеза Хубера-Мизеса. Максимальная разница между расчетными значениями параметра при использовании разных методов, получается при чистом сдвиге и составляет около 13% [1].

Неравенство (1), для удобства анализа, можно представить в виде

$$n = \sigma_{\text{T}} / \sigma_{\text{ЭКВ}} \geq 1,5 \dots 2,0, \quad (2)$$

где n – коэффициент запаса статической прочности.

Расчет показателей в программе «ANSYS» осуществляется согласно теории Хубера-Мизеса на основе метода конечных элементов.

При оценке прочности шарнирных соединений лесных машин отдельное внимание следует уделить типам шарниров [2], представленных в программе. Например, при исследовании шарнирного соединения гидравлического цилиндра привода стрелы манипулятора используются следующие типы.

Фиксированный (ограничивает все 6 степеней свободы) для зоны контакта наружной цилиндрической поверхности втулки и отверстия проушины.

Вращательный (разрешает поворот вокруг оси Z) для зоны контакта наружных цилиндрических поверхностей пальца и внутренних поверхностей втулок.

Методика прочностного расчёта

При оценке статической прочности шарнирных соединений можно использовать два подхода:

- исследовать сборочную единицу;
- исследовать детали сборочной единицы по отдельности.

Независимо от выбранного варианта, расчет сводится к последовательному заполнению таблицы задач – таблицы, в которой сверху вниз перечислены все этапы работы (рис. 2).

Перечень включает следующие действия:

- Задать свойства материалов.
- Создать и импортировать 3D модель.
- Сгенерировать сетку конечных элементов.
- Составить расчетную схему.
- Выбрать параметры расчета.
- Рассчитать и проанализировать результаты.

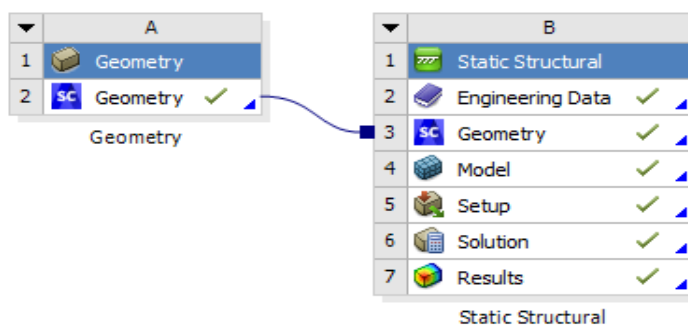


Рис. 2. Таблица задач

Свойства материалов можно задать с помощью библиотеки материалов (база данных) (рис. 3). Привязка материалов к модели выполняется в модуле расчета статической прочности «Static Structural – Mechanical», в разделе «Материалы» дерева проекта.

Создать 3D модель. Исследуемую геометрию можно загрузить в программу как в виде сборочной единицы (рис. 4), так и отдельных деталей (рис. 5). Программа «ANSYS» имеет встроенный графический редактор

«SpaceClaim». Возможен импорт моделей из сторонних САПР- программ (КОМПАС-3D, SolidWorks, AutoCAD и др.).

Генерация сетки конечных элементов. Построение сетки конечных элементов осуществляется в разделе «Mesh» (Сетка) дерева проекта. Доказано, что чем меньше размеры элемента, тем точнее будут результаты. Однако при этом возрастает потребляемый вычислительной машиной ресурс и время ожидания результатов.

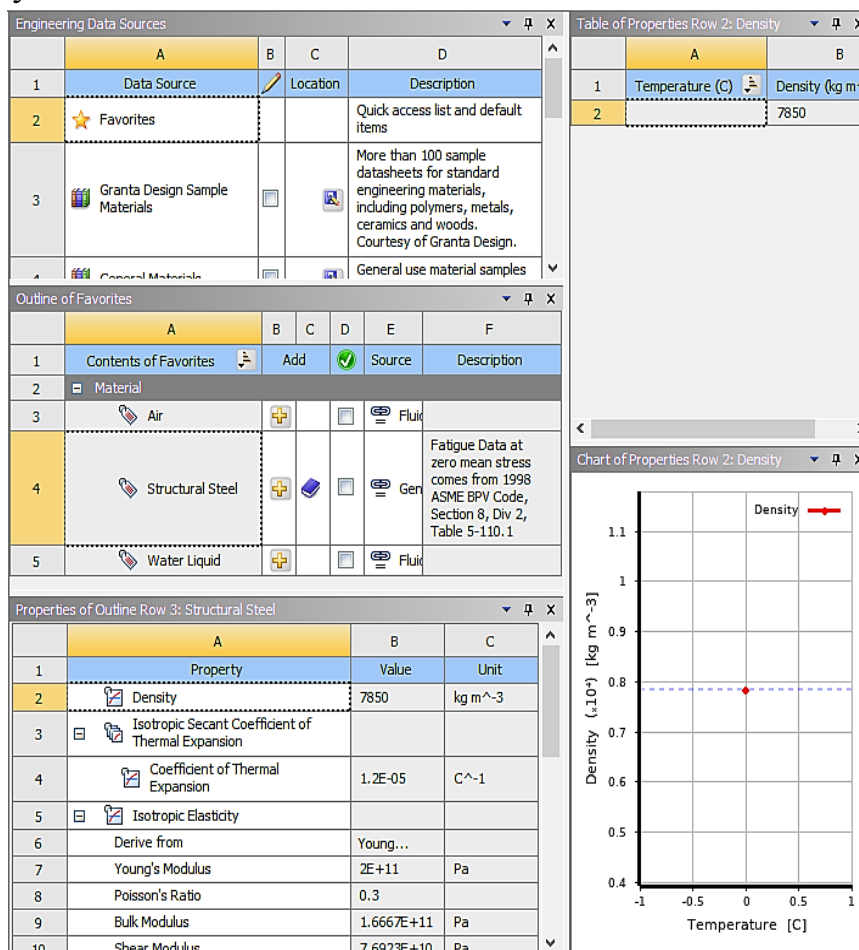


Рис. 3. Библиотека материалов

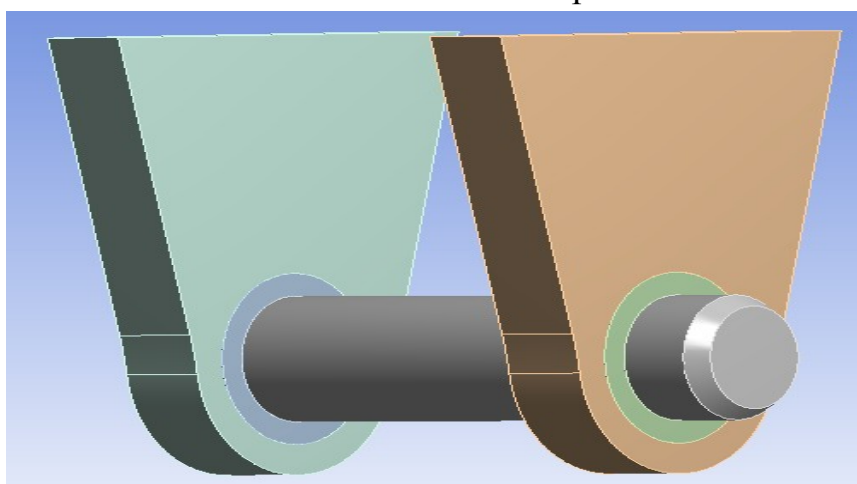


Рис. 4. Шарнирное соединение гидравлического цилиндра привода стрелы гидроманипулятора

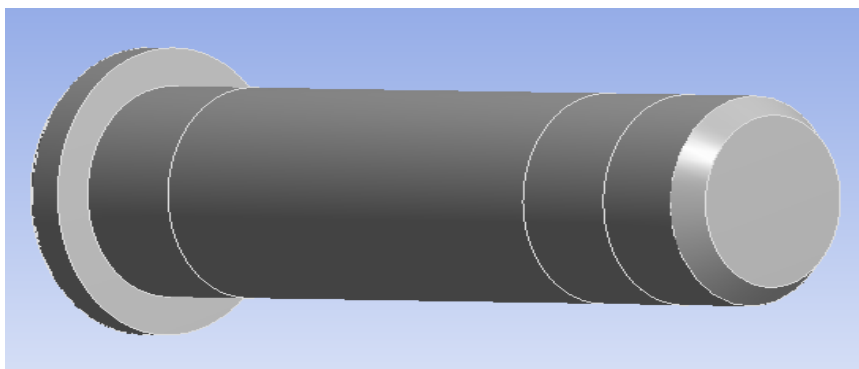


Рис. 5. Деталь «Палец» сочленения

Предусмотрена возможность изменять как размеры конечного элемента (примитива), так и его форму (тетраэдр, гексаэдр и др.) для отдельных поверхностей и элементов конструкции (рис. 6) с целью получения более точных значений параметров.

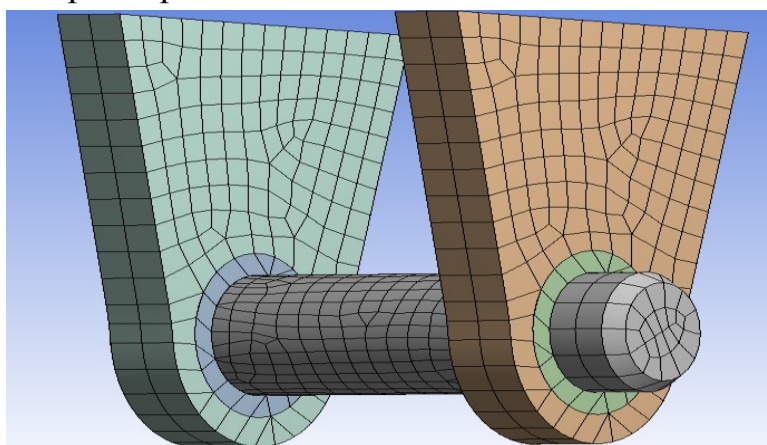


Рис. 6. Сетка конечных элементов шарнирного соединения (поверхность контакта пальца с головкой штока гидроцилиндра имеет более мелкую сетку)
Обоснование расчетной схемы

В зависимости от подхода к оценке статической прочности шарнирных соединений, расчетная схема составляется либо отдельно для каждой детали соединения (рис. 7), либо единой для сборочной единицы (рис. 8).

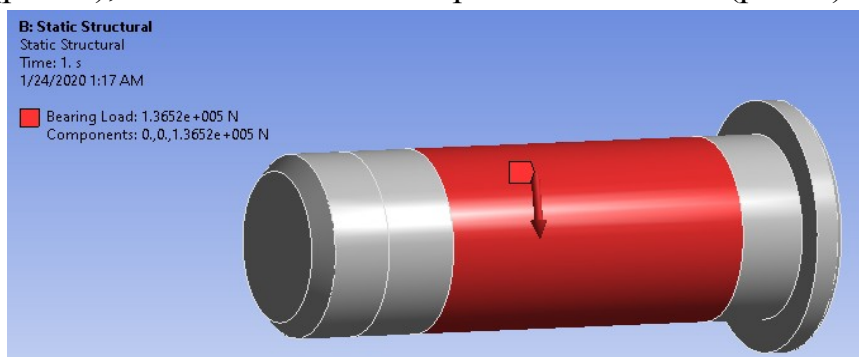


Рис. 7. Расчетная схема детали

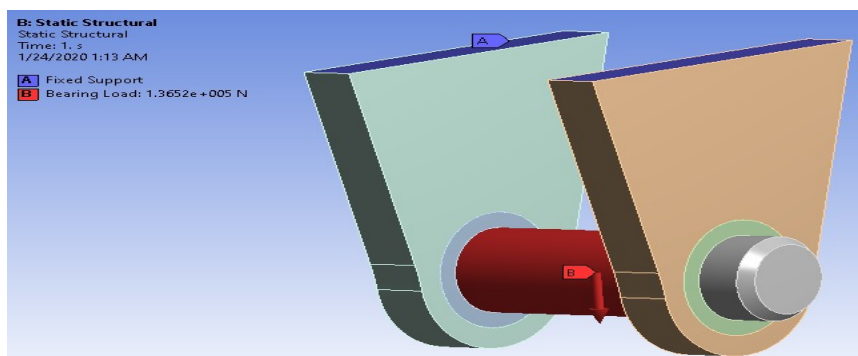


Рис. 8. Расчетная схема сборочной единицы

Разработку схемы можно разделить на два этапа:

- выбор типа шарниров и их привязка к геометрии;
- выбор нагрузок и реакций опор.

Типы шарниров выбираются в разделе «Connections» (Соединения) дерева проекта. В случае исследования сборочной единицы, шарниры привязываются к поверхностям контакта отдельных деталей, используя контакт «Body-Body» (Тело-Тело). При исследовании деталей соединения по отдельности, шарниры привязываются к поверхности детали, используя контакт типа «Body-Ground» (Тело-Основание).

Выбор типов нагрузок и различных опор (жесткая заделка, пружинная опора и др.) выполняется в разделе «Static Structural» дерева проекта.

Обоснование выходных параметров. Параметры расчета задаются в разделе «Solution» дерева проекта. При необходимости, можно добавить: деформацию, нормальные и касательные напряжения, векторное представление напряжений и др. В программе реализована возможность произвести настройку общих параметров статического анализа в подразделе «Analysis Setting» (настройка анализа).

Расчет и анализ результатов. Расчет проводится автоматически, по нажатию на иконку «Solve» (решить). После выполнения расчета на экран будут выведены результаты, в виде цветных изображений. Каждый цвет характеризует диапазон значений тех или иных величин.

На рис. 9 и рис. 10 изображены результаты расчета эквивалентных напряжений и коэффициента запаса статической прочности сборочной единицы. На рис. 11 и рис. 12 изображены результаты расчета аналогичных показателей детали «палец».

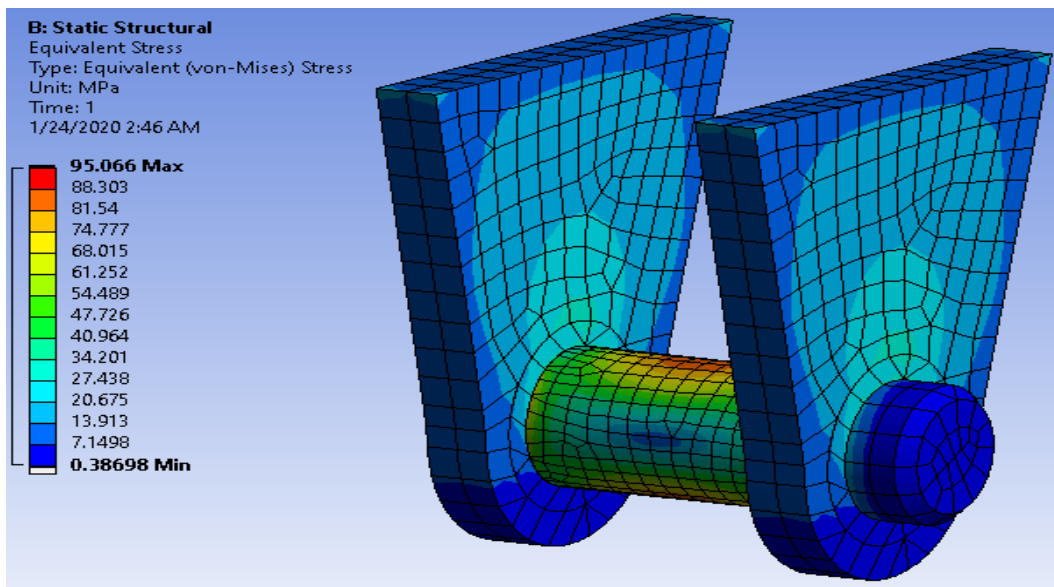


Рис. 9. Результаты расчета эквивалентных напряжений сборочной единицы

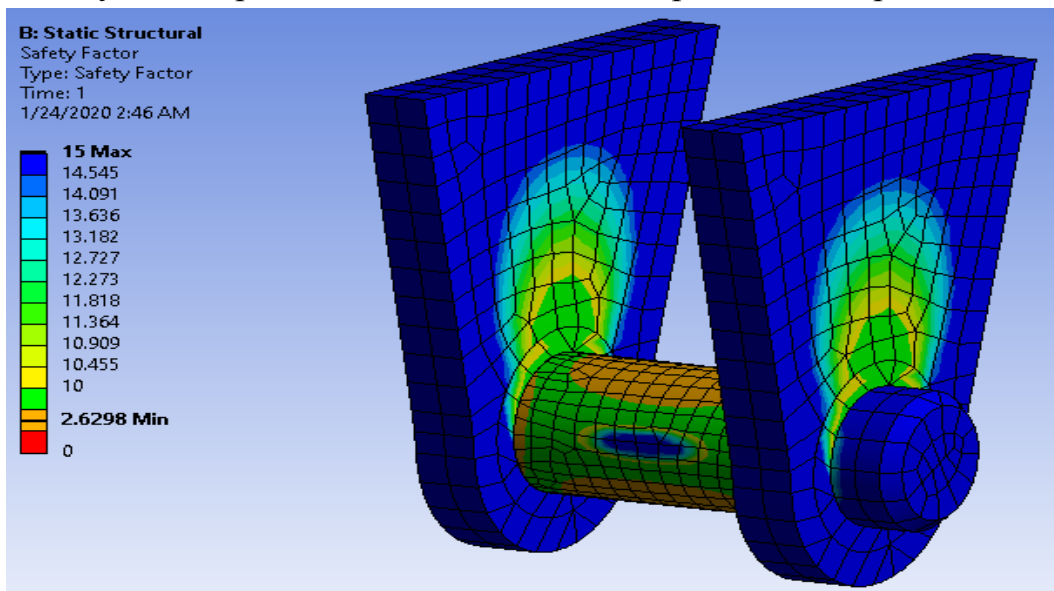


Рис. 10. Результаты расчета коэффициента запаса статической прочности сборочной единицы

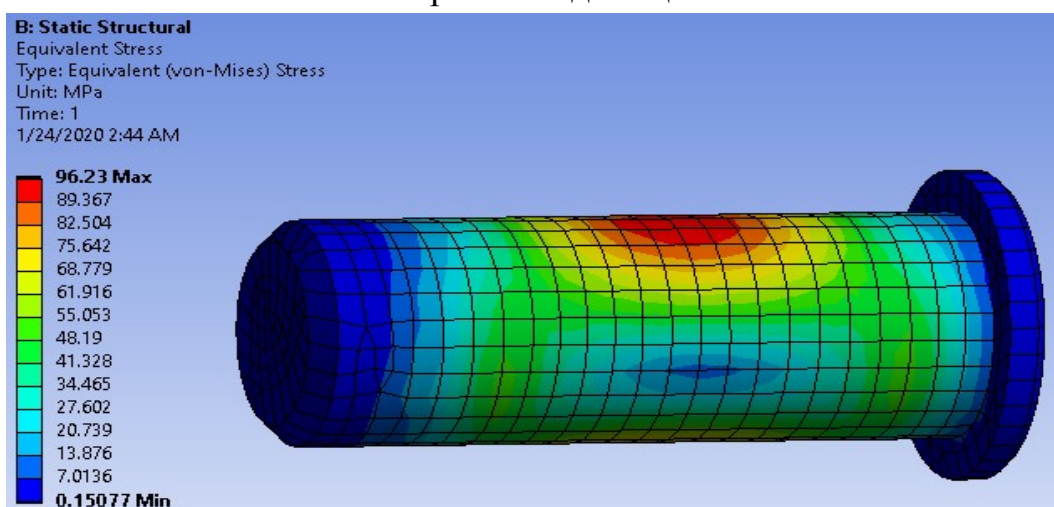


Рис. 11. Результаты расчета эквивалентных напряжений детали «Палец»

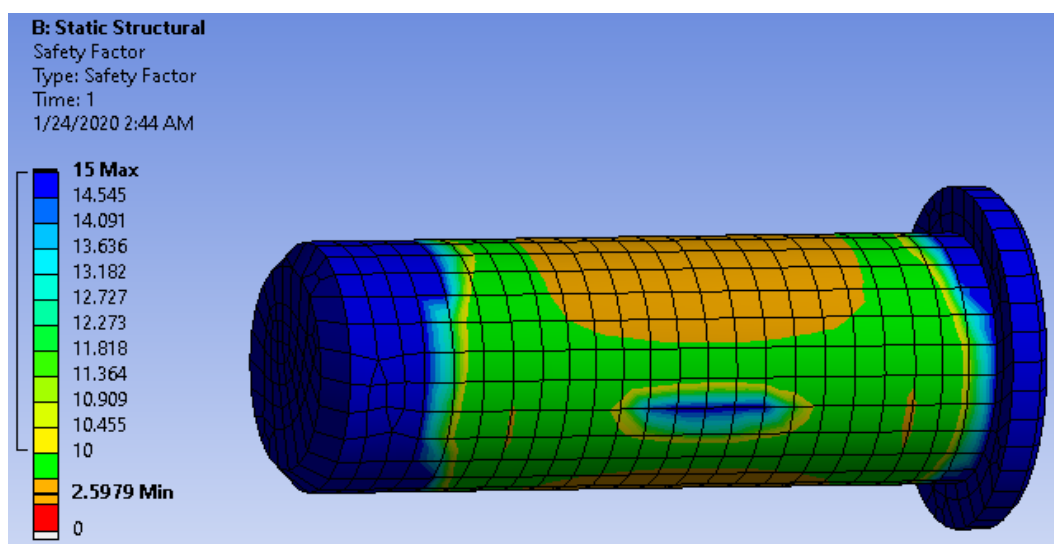


Рис. 12. Результаты расчета коэффициента запаса статической прочности детали «Палец»

Исходя из вышеизложенного, можно представить алгоритм оценки статической прочности шарнирных соединений лесных машин (рис. 13).

Заключение

Описанная методика позволяет выполнить оценку статической прочности шарнирных соединений лесных машин, используя программное обеспечение «ANSYS».

Проведенный анализ статической прочности показал, что погрешность в значениях исследуемых параметров (эквивалентные напряжения, коэффициент запаса статической прочности) при отдельном расчете деталей соединения и сборочной единицы, не превышают 3%.

Из алгоритма видно, что анализ отдельных деталей (от 1 до n) шарнирного соединения более трудоемкий, так как необходимо каждый раз загружать новую геометрию и проводить новый расчет. Однако, такой подход может быть целесообразным, если:

- сборочная единица состоит из небольшого числа простых деталей;
- если проводится расчет наиболее нагруженных и ответственных элементов.

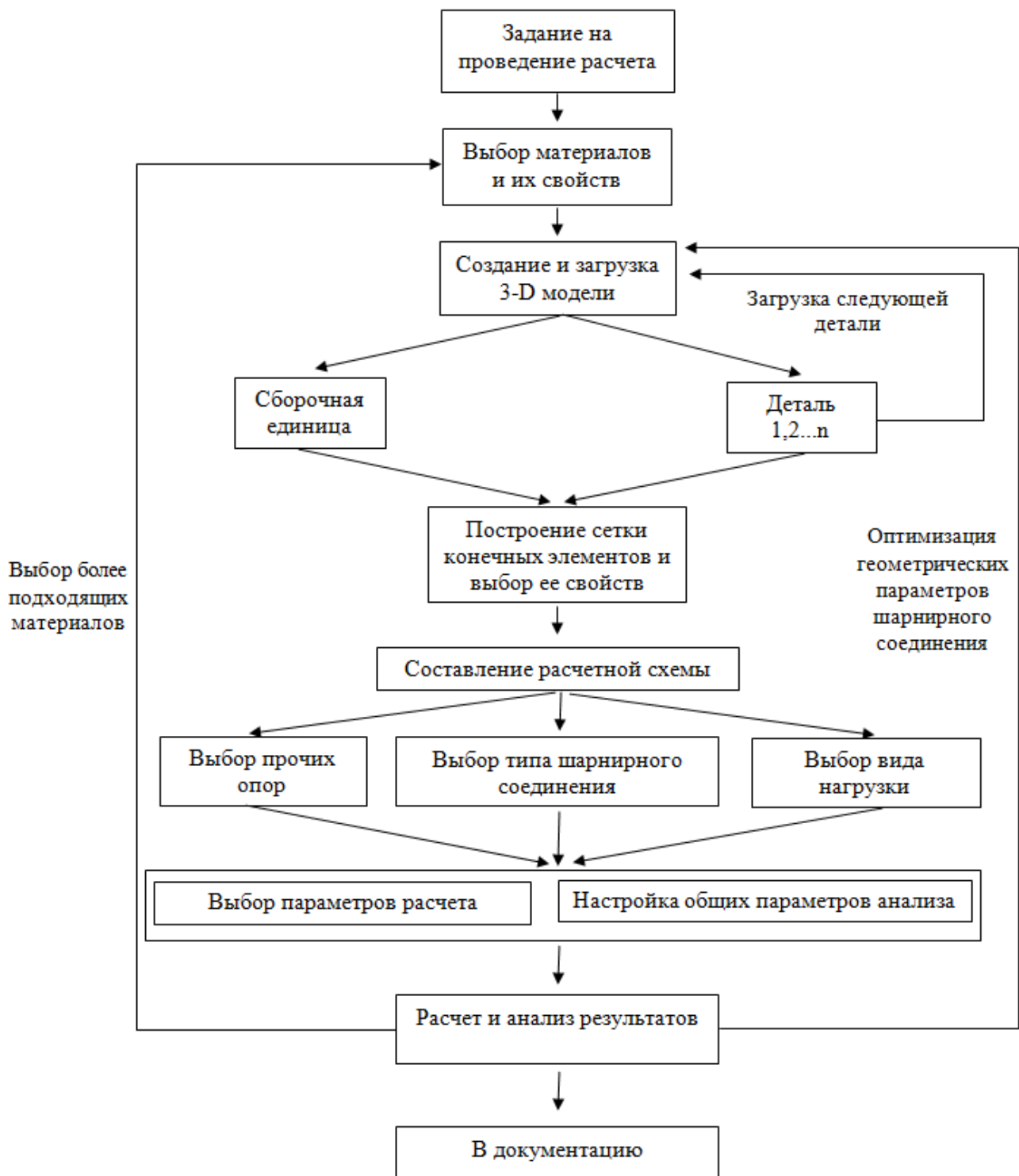


Рис. 13. Алгоритм оценки статической прочности шарнирных соединений лесных машин

Библиографический список

1. Феодосьев В.И. Сопротивление материалов: Учеб. Для вузов. – 10-е изд., перераб. И. доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 с.
2. Служба помощи программы «ANSYS» [Электронный ресурс] <https://ansyshelp.ansys.com>

Сведения об авторах

ФИО Зверев И.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный
лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail igorzv1997@gmail.ru

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 отсутствует
e-mail agregat9@yandex.ru

Аннотация

Представлена методика оценки статической прочности шарнирных соединений лесных машин с использованием программного обеспечения «ANSYS». Проведен анализ статической прочности шарнирного соединения гидравлического цилиндра привода стрелы гидроманипулятора.

Ключевые слова: статическая прочность, эквивалентные напряжения, программное обеспечение, таблица задач.

УДК 624*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 81.01.81

5. ДЕРЕВООБРАБОТКА И ДРЕВЕСИНОВЕДЕНИЕ

Анализ деформированного состояния древесины

Хрусталева И.В.

Наряду с процессами обработки древесины резанием, большое внимание уделяется обработке древесины с помощью прокатки как у нас в стране, так и за рубежом.

Первый патент на вальцевание древесины, описывающий способ уплотнения поверхностного слоя древесины заготовок круглого сечения, был выдан в 1892 г.: Model K. Vorrichtung zur mechanischen Hartung von holzwalzen fur Mangeln und Kalander. Deutesches Reih Patentschrift № 64289, 8.09.1892.

А. Ауспитцер в 1927 году предложил уплотнять массивную древесину путем волочения или прокатки. В 1950 г. Ж. Гальтье производил прессование цельной древесины 12% влажности в обогреваемых валках. Л. Форейтор в 1958 г. описал способ прессования сухой древесины в обогреваемых валках с применением токов высокой частоты.

Проблемой прессования древесины при помощи валков занимались Хухрянский П.Н. [1], Кротов Е.Г., Савков В.Н. и другие.

Большой объем теоретических и экспериментальных исследований процесса прокатки древесины проведен в Санкт-Петербургском Лесотехническом университете.

В настоящее время проводятся исследования на кафедре электроакустики и ультразвуковой техники ЛЭТИ по влиянию ультразвука на свойства древесины и ее дальнейшую обработку.

Древесина является материалом со сложной структурой, обладающей анизотропными и реологическими свойствами.

При нагружении древесины вдоль волокон выделяют две области деформирования: область обычной упругости и область вынужденно эластических деформаций. Напряжение, определяющее границу между двумя областями, представляет собой предел вынужденной эластичности древесины.

Если напряжения во второй области воздействуют на набухшую древесину, она выходит из состояния естественного застеклования и приобретает высокоэластичные свойства. Высокоэластические деформации обратимы и в десятки раз превышают мгновенные упругие деформации натуральной древесины.

Для древесины обычно принимается реологическая модель, состоящая из последовательно соединенных моделей упругого тела Гука и эластичного тела

Кельвина. Тело Гука символически изображается пружиной с модулем упругости E_2 , тело Кельвина – в виде параллельно соединенных пружины с модулем упругости E_1 и демпфера с жидкостью, имеющей коэффициент вязкости η . Зависимость напряжения σ и деформации ε такой модели имеет вид

$$\sigma + n\dot{\sigma} = nH\varepsilon + E\dot{\varepsilon},$$

где: $H = E_2$ – мгновенный модуль упругости;

$E = E_1E_2/(E_1 + E_2)$ – длительный модуль упругости;

$n = \eta/(E_1 + E_2)$ – длительная релаксация.

Закономерности деформирования модели: при приложении нагрузки мгновенно появляется деформация $\varepsilon = \sigma/H$. Далее при постоянном напряжении $\sigma = \text{const}$ возрастают эластические деформации по криволинейному закону, и при длительной выдержке стремятся к величине $\varepsilon = \sigma/E$. После разгрузки немедленно возвращается упругая деформация, а с течением времени полностью исчезает эластическая деформация. Приведенная модель отражает поведение тела, деформации которого вполне обратимы.

Поведение моделей и реальных тел можно описать соотношениями, содержащими в общем случае напряжения, деформации и их производные во времени, т.е. реологическими уравнениями. Параметры, характеризующие материал, будут являться реологическими коэффициентами, а напряжения и деформации – реологическими переменными.

Деформативность древесины при сжатии вдоль и поперек волокон характеризуется модулями упругости в трех главных направлениях E_a , E_r , E_t [2]. При приложении нагрузки, в древесине, кроме продольной, появляется поперечная деформация. Ортотропное тело характеризуется шестью коэффициентами деформации μ_{ra} , μ_{ia} , μ_{tr} , μ_{ar} , μ_{rt} , μ_{at} .

Один из важных факторов, который необходимо учитывать при уплотнении древесины: сохранение целостности прокатываемого тела, без разрушения структуры волокон. Это условие можно проконтролировать с помощью показателя степени уплотнения ε . Допускаемая степень уплотнения для различных пород древесины не одинакова, но не превышает 55% [1].

При прокатке круглого сортифта в брус квадратного профиля, необходимо учитывать, что степень уплотнения в различных точках поперечного сечения может значительно отличаться от фактических значений. В работе [3] приведена формула для расчета фактической степени уплотнения.

Выводы

Возникающая при прокатке деформация складывается из упругой и пластической. В зависимости от породы древесины и предварительной

подготовки, соотношение между упругой и пластической деформациями различно.

Библиографический список

1. Хухрянский П.Н. Прессование и гнутье древесины. М. Л., Мослесбумиздат, 1956, 244 с.
2. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М., Лесная промышленность, 1989, 294 с.
3. Израелит А.Б. Определение степени уплотнения круглого сортимента при прокатке в брус. Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Межвузовский сборник научных трудов. Л., 1990.

Сведения об авторе

ФИО Хрусталева И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8636-3860
e-mail innessachrustaliova@gmail.com

Аннотация

Древесина является материалом со сложной структурой, обладающей анизотропными и реологическими свойствами. При нагружении древесины вдоль волокон выделяют две области деформирования: область обычной упругости и область вынужденно эластических деформаций. Напряжение, определяющее границу между двумя областями, представляет собой предел вынужденной эластичности древесины.

Ключевые слова: древесина, анизотропные свойства, реологические свойства, область деформации.

УДК 621.771.065

Разделы рубрикатора ГРНТИ 53.43.13

Определение рациональных параметров процесса прокатки

Хрусталева И.В.

При определении параметров прокатки большое значение имеет показатель степени деформации древесины.

В работе [1] указывается на ряд недостатков показателя степени деформации древесины: неопределенность в связи с произвольностью его

определения через начальные или конечные результаты, неподчинение его принципу суперпозиции при ступенчатом уплотнении. Поэтому автор предложил логарифмический показатель степени деформации:

$$\varepsilon = \ln \frac{V_0}{V_k} = \left| \ln \frac{V_k}{V_0} \right| \quad (1)$$

где: V_0 и V_k - соответственно начальный и конечный объем заготовки.

Такое логарифмическое представление деформации дает положительные результаты, но непонятно как его использовать для принципа суперпозиции.

В качестве сравнительных показателей целесообразности уплотнения в работе [1] предложено использовать удельные характеристики – отношение показателя свойств древесины к объемному весу:

$$\alpha = \frac{\kappa}{\gamma} \quad (2)$$

где: κ – рассматриваемый показатель свойств: прочность, твердость, износостойкость и т.д.; γ – объемный вес.

Такой показатель широко используется для металлов, но не для анизотропных материалов, каким является древесина.

В работе [2] оптимальную степень деформирования ищут из условий обеспечения минимальных затрат на единицу механического показателя или по стоимости 1 т уплотненной древесины.

Для оценки степени уплотнения древесины при деформировании рационально использовать удельные характеристики в зависимости от породы древесины, ее влажности, предварительной подготовки, отнесенные к геометрическим параметрам.

Скорость нагружения играет важную роль во многих технологических процессах и по ней определяется проявление динамических эффектов при обработке.

При прокатке возникает явление проскальзывания, которое учитывают коэффициенты кинематического, технологического, динамического и суммарного скольжения [2]. Следует отметить, что при увеличении диаметра вала свыше 150 мм коэффициент скольжения уменьшается незначительно.

Качество прокатанной заготовки в большой степени зависит от предварительной подготовки. Прогрев заготовки перед уплотнением рекомендуется вести при $t = 120 - 140^\circ$ в специальных камерах с увлажнением воздуха и выдержкой 0,5 – 1 час. При этих условиях достигается наибольшая прочность уплотненной древесины [2].

Предварительная термическая или гидротермическая обработка древесины уменьшает ее сопротивление деформации, но не создает пластичности. Пластичность увеличивается в значительной степени при обработке древесины

аммиаком. После такой обработки древесина не требует для фиксации формы сушки в зажатом состоянии [3].

В процессе прокатки возможно воздействие ультразвука на обрабатываемую древесину. Под действием ультразвука размягчается лигнин, увеличивая пластичность древесины и в результате на поверхности образуется уплотненный слой высокой твердости.

Выводы

Один из важных параметров используемый при характеристике процесса прокатки является степень уплотнения. Для оценки степени уплотнения древесины при деформировании рационально использовать удельные характеристики в зависимости от породы древесины, ее влажности и предварительной подготовки.

Библиографический список

1. Израелит А.Б. О характеристиках процесса уплотнения древесины. Материалы к научно-технической конференции факультета МТД. Л., ЛТА, июнь 1969.
2. Мовнин М.С., Израелит А.Б., Янговсей Л.И. К определению оптимальной степени уплотнения древесины. Исследование свойств и применение уплотненной и модифицированной древесины. Научные труды № 139. Л., ЛТА, 1971.
3. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М., Лесная промышленность, 1989, 294 с.

Сведения об авторе

ФИО Хрусталева И.В.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8636-3860
e-mail innessachrustaliova@gmail.com

Аннотация

Определение рациональных параметров процесса прокатки зависит от породы древесины, ее влажности, предварительной подготовки. Один из параметров используемый при характеристике процесса прокатки является степень уплотнения. Для оценки степени уплотнения древесины при деформировании рационально использовать удельные характеристики в зависимости от породы древесины, ее влажности и предварительной подготовки.

Ключевые слова: древесина, прокатка, влажность, степень деформации

УДК 621.771.065

Разделы рубрикатора ГРНТИ 53.43.13

Определение усилий на элементы оборудования при прокатке древесины

Хрусталева И.В.

Ряд работ посвящен определению усилий, действующих на элементы оборудования и удельных затрат энергии при прокатке древесины.

В работе [1] рассмотрена схема прокатки древесины в двух валках и приведена формула для определения возникающих напряжений через текущую плотность:

$$\sigma = \sigma_0 + \frac{b\rho_0(\cos\psi - \cos\psi_0)}{h_0 - 2r(\cos\psi - \cos\psi_0)};$$

где: ρ_0 – начальная плотность древесины; r – радиус валка; ψ_0 – угол захвата; ψ – текущее значение угла захвата; h_0 – начальная толщина материала; b – эмпирический коэффициент.

Приведенная формула построена при двух основных допущениях: связь деформации с плотностью принята линейной и получается из уравнения сплошности, которое не приемлемо для дерева. Кроме того принята линейная связь напряжений с плотностью, то есть с деформацией, что не отражает реальную характеристику между σ и ε , а также не позволяет вычислить остаточную деформацию. Принятые допущения вносят существенную ошибку в физику процесса прокатки, особенно при большой влажности.

По результатам наблюдений при испытании древесины на деформацию сжатия гладкими и рифлеными валками в работе [2] составлены диаграммы работы деформаций для валков диаметров 60, 80, 100 мм. С помощью диаграмм можно определить полную работу и по ней рассчитать мощность на деформацию древесины.

С помощью тензометрических исследований в работе [2] были определены усилия действующие при прокатке заготовки двумя валками. Использовались заготовки следующих пород древесины: береза, серая ольха, осина. В ходе анализа полученных данных был сделан вывод, что при значительном увеличении степени деформации, от 5 до 30%, напряжения в среднем возрастают только на 25-30 Па; при степени деформации от 30 до 40% - внешние слои достигают наибольшей деформации, а при степени деформации 40 – 55% - наблюдается существенное возрастание напряжений. В этот момент уплотняются только средние слои заготовки, а внешние уплотняются не значительно. Результаты этой работы очень напоминают характеристики $\sigma - \varepsilon$, приведенные П.Н. Хухрянским.

При определении усилий на элементы установки для прокатки в четырех валках круглой заготовки в брус квадратного профиля делаются следующие допущения:

- используем гипотезу плоских сечений;
- пренебрегаем проскальзыванием между древесиной и валками, что позволяет считать касательные напряжения равными 0;
- будем считать, что нагрузка прикладывается с постоянной скоростью, а длительность процесса деформирования какого-либо сечения незначительна;
- при степени деформации $\varepsilon < 0,5$ имеем линейную зависимость между общей, упругой и пластической деформацией;
- будем использовать характеристику $\sigma(\varepsilon)$;
- будем рассматривать материал древесины как сплошное тело, но с учетом изменения характеристик вдоль различных осей;
- исходный профиль считаем прямоугольным. Для круглого сечения имеем квадрат со стороной равной диаметру дерева.

С учетом перечисленных допущений составляется математическая модель для определения усилий в процессе прокатки древесины во вращающихся валках [3].

Выводы

Анализ данных показал, что при увеличении степени деформации, от 5 до 30%, напряжения в среднем возрастают только на 25-30 Па; при степени деформации от 30 до 40% - внешние слои достигают наибольшей деформации, а при степени деформации 40 – 55% - наблюдается существенное возрастание напряжений.

Библиографический список

1. Израелит А.Б., Мурзич Р.М., Герасимов Ю.Г. Анализ процесса нагружения древесины и шпона при прокатке. Технология и оборудование деревообрабатывающих производств. Межвузовский сборник трудов. Л., 1985
2. Берзиньш Г.В., Шавелис В.А., Штейнерс К.Н. Тензометрический метод определения силовых факторов, действующих на валки при прокатке древесины. Вопросы теории, технологии и применения уплотненной древесины. Научные труды №111. Л., ЛТА, 1968.
3. Хрусталева И.В. Обоснование параметров установки для прокатки сортиментов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. СПб.: ЛТА, 1993. 158 с.

Сведения об авторе

ФИО Хрусталева И.В.

Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический

Адрес университет имени С.М. Кирова
организации 194021, Институтский пер., д. 5 литер У, Санкт-Петербург,
Россия
SPIN-код 8636-3860
e-mail innessachrustaliova@gmail.com

Аннотация

Определение усилий на элементы оборудования при прокатке зависят от породы древесины, ее влажности, предварительной подготовки. Анализ данных показал, что при значительном увеличении степени деформации, от 5 до 30%, напряжения в среднем возрастают только на 25-30 Па; при степени деформации от 30 до 40% - внешние слои достигают наибольшей деформации, а при степени деформации 40 – 55% - наблюдается существенное возрастание напряжений.

Ключевые слова: напряжение, степень уплотнения, деформация, валки.

УДК 621.771.065

Разделы рубрикатора ГРНТИ 53.43.13

Анализ существующих математических моделей процесса резания древесины

Вохмянин Н.А., Белоногова Н.А., Тарабан М.В.

Резание древесины является сложным технологическим процессом. Объективно, сложность данного процесса объясняется многими факторами и обстоятельствами:

Древесина является растительным полимером со сложной структурой, значительным разбросом свойств по различным породам, в пределах одной породы и даже в пределах единичной детали или заготовки. Кроме того, значения показателей её свойств могут меняться и в ходе самого процесса резания.

Не представляется возможным говорить о полностью стабильном или закономерно изменяющемся характере качества обработки древесины по причине непрерывно изменяющейся микрогеометрии рабочего инструмента-резца.

В ходе процесса механической обработки растительных полимеров, сопровождаемого удалением части, как обрабатываемого, так и обрабатывающего материала, наблюдаются сложные процессы превращения части механической энергии в тепловую, химическую и электрическую. Баланс и пропорция подобного перераспределения существенно влияют на

интенсивность и вид изменения микрогеометрии резца, на его затупление и износ.

Сложность адекватного описания и понимания процессов, происходящих при резании древесины, обуславливается в первую очередь необходимостью учитывать большое число различных факторов, оказывающих своё влияние на динамику данных процессов.

На лицо объективные трудности в получении полного и достаточного точного аналитического (математического) описания связей между исходными условиями и принятыми оценочными показателями резания. Теория резания опирается на ряд смежных дисциплин, таких как физика, математика, химия древесины, древесиноведение, механика твёрдого тела, которые в свою очередь не всегда имеют решения, пригодные для использования в теории резания древесины.

Сложность описания процесса резания древесины иллюстрирует перечень факторов элементарного резания:

Влияние породы, влажности, температуры, смолистости, механических свойств, определяющих прочность, упругость, хрупкость, пластичность обрабатываемого материала.

Инструментальные факторы – углы заточки, острота лезвия, физико-механические свойства резца (прочность, упругость, истираемость, тепловая и коррозионная стойкость), качество подготовки инструмента (значения параметра шероховатости резца).

Технологические факторы – ориентированность направления обработки по отношению к направлению волокон древесины, толщина слоя снимаемой за проход стружки, угол резания и задний угол, значение коэффициента трения между древесиной и резцом, скорость и сила резания.

Большинство факторов, характеризующих исходные условия резания, изначально заданы. Факторами, которые необходимо определить и по которым оценивается протекание процесса резания, являются величины сил резания и характеристики качества обработки. При рассмотрении реальных процессов станочной обработки возникает необходимость рассмотрения ещё большего числа факторов. Так, при изучении процесса изготовления лущёного шпона, подобных факторов насчитывается более сорока.

При всей своей сложности, вытекающей из многообразия факторов влияния, процесс резания постоянно изучается и систематизируется. Залогом этому служат научные исследования посвящённые таким принципиальным разделам, как механика процесса резания, термодинамика, износостойкость и оптимизация микрогеометрии инструмента, совершенствование режимных характеристик резания древесины.

Резюмируя можно сказать, что резание древесины это сложный процесс, сочетающий целый комплекс явлений различной природы, имеющих физическое, химическое, электрическое и механическое происхождение.

Физические явления процесса резания протекают на поверхности скольжения древесины по резцу. Связаны эти явления с превращением затраченной на резание механической энергии в другие её виды – тепловую и электрическую в первую очередь.

Под химическими явлениями понимаются химические реакции, происходящие на рабочих гранях инструмента при его контакте с обрабатываемым материалом. Следствием протекания подобных реакций может быть увеличенная скорость износа рабочих граней инструмента.

Современное понимание процесса резания различных материалов, сопровождаемое целым комплексом сложных явлений механической, физической, физико-химической и электрической природы, тесно взаимосвязанных между собой, постоянно развивается и совершенствуется. Синтез этих процессов и явлений, их сложное взаимодействие в значительной степени затрудняет создание общей аналитической теории резания материалов вообще и древесных материалов в частности. В процессе резания в материале возникают различные виды деформаций и напряжений, переходящие за предельные значения упругих деформаций.

Изучением напряжений и деформаций в материалах, приведённых в состояние пластичности, занимается теория пластичности, мало изученная для древесины. По этой причине не представляется возможным применение к теории резания древесины математических исследований, основанных на теории пластичности. Крупнейший исследователь в области физики твёрдого тела академик В.Д. Кузнецов писал [1] «... при создании физической теории особо важное значение имеют структура и свойства обрабатываемого материала. Физическая теория – это теория, в которой свойства обрабатываемого материала учитываются и изучаются во всей полноте и многогранности, так как ... они играют первостепенную, не пассивную, а активную роль».

В этой связи имеется необходимость рассмотрения и анализа основных свойств древесины, как предназначенного к обработке материала.

В стволе дерева клетки не однородны по форме и размерам. Их группы – ткани специализированные. В стволе дерева различают:

- паренхиму – ткань, состоящую из клеток, в которых откладываются питательные вещества;
- сосуды – совокупность клеток, образующих сквозные трубки, способные проводить интенсивные потоки влаги вдоль оси дерева;

- сердцевинные лучи – ткань, проводящую водные растворы питательных веществ по радиусу поперечного сечения ствола и служащую для их хранения;
- трахеиды – совокупность клеток, вытянутых вдоль ствола, способных проводить влагу и сопротивляться деформированию и разрушению преимущественно вдоль оси ствола;
- либриформ – ткань, состоящую из клеток-волокон, обеспечивающих механическую прочность ствола дерева;
- смоляные ходы – вертикальные или горизонтальные заполненные смолой каналы, расположенные между паренхимными клетками;

Распределение перечисленных тканей в стволе различно у разных пород древесины. Отличается оно и в пределах одной породы и зависит от времени года, в которое клетки образовались.

Сопротивление действию инструмента при резании древесины оказывают в наибольшей степени механические ткани - трахеиды и либриформ, составляющие основную массу древесины. Способность древесины сопротивляться резанию зависит от формы и размеров клетки, толщины стенок последней и направления действия на неё резца. Содержание различных элементов и их размеры в древесине подробным образом раскрываются в работе [2].

Резание древесины сопровождается рядом факторов, негативно влияющих на работоспособность и долговечность дереворежущего инструмента.

При разрушении древесины лезвием резца образуются новые поверхности на местах разрывов молекулярных связей. Вероятность появления положительного или отрицательного заряда в каждой точке новой образованной поверхности древесины одинакова. Можно представить, что на поверхности древесины возникает мозаика зарядов, алгебраическая сумма которых на площадке в 5-10 раз превышающей размер молекул, близка к нулю. Возникающие на поверхности древесины заряды провоцируют соответствующую мозаику зарядов с противоположными знаками на рабочих гранях резца. Последние заряды двигаются вместе со стружкой до момента расхождения её с резцом. После этого они нейтрализуются.

При взаимодействии древесины и материала резца образуются так называемые трибозаряды: при трении возникают условия для передачи электронов от одного тела к другому и накопления заряда. Величина заряда нарастает с увеличением пути контакта и давления на соприкасающихся поверхностях. Эти заряды при обработке сухой древесины, являющейся диэлектриком, могут нейтрализоваться путём искрового разряда (пробоя

воздушного зазора между стружкой и резцом). Подобный разряд чаще всего происходит в зоне схода стружки с резца, когда величина заряда наибольшая.

В процессе деформации сухой древесины резцом проявляются её пьезоэлектрические свойства – возникают электрические заряды в результате механических напряжений или упругих деформаций древесины. Интенсивность поляризации древесины, определяющая величину пьезозарядов, пропорциональна величине механических напряжений в результате приложения внешних усилий (сжатия, растяжения) и направления этих усилий относительно волокон древесины. Знак пьезозаряда определяется направлением давления. Так, как знак пьезозаряда в стружке не изменяется, резец выполняет роль конденсатора из-за того, что на его поверхностях индуцируются заряды другого знака. Разность потенциалов на поверхностях контактирующих резца и обрабатываемого материала делают высокой вероятность появления искрового разряда.

Таким образом можно считать, что трибо- и пьезозаряды, возникающие при резании древесины суммируются и образуют сложную электрическую систему, в которой следует ожидать появления на поверхности резца токов нейтрализации и искровых разрядов. Часть зарядов остаётся не нейтрализованной. Остаточные заряды на древесине могут длительное время удерживаться на её поверхности. Соответствующие остаточные заряды на резце могут быть отведены и приборно измерены.

Следствием вышеперечисленных факторов является возникающая под действием электрических искровых разрядов электроэрозия рабочих граней дереворежущего инструмента.

Принципиально возможно непосредственное диспергирование рабочих граней инструмента под действием статического электричества, но прежде всего оно опасно, как провоцирующий фактор для возникновения других видов износа. Так, образующиеся на рабочей поверхности инструмента вырывы, лунки и другие подобные им микротравмы, способствуют запуску процесса механического разрушения поверхностных слоёв металла инструмента.

Понимание природы процессов имеющих электрическую природу, протекающих на лезвии дереворежущего инструмента, помогает подобрать оптимальные способы их минимизации или предотвращения. К подобным способам можно отнести увлажнение или ионизацию воздуха в зоне резания.

Вместе с тем электрические разряды на лезвии не имеют достаточной мощности для самостоятельного существенного разрушения режущих элементов деревообрабатывающего инструмента. Гораздо больший вклад в разрушение инструмента вносят явления с более сложной природой такие, как электрохимические процессы в поверхностных слоях инструмента.

Резание древесины это типичный диссипативный, связанный с потерей энергии процесс. Основная часть механической энергии, затрачиваемой на его реализацию, превращается в энергию тепловую. Принципиальное отличие процессов резания древесных материалов от металлообработки заключается в самой природе обрабатываемого материала. Древесина, имеющая малый по сравнению с металлами, коэффициент теплопроводности не обеспечивает достаточно интенсивный отвод тепла из зоны резания вместе со снимаемой стружкой. По этой причине основная часть тепла остаётся в зоне лезвия. Принимая во внимание и такие особенности процесса деревообработки, как малые значения углов заточки основных видов инструментов, высокие скорости резания, отсутствие подачи в зону резания смазочно-охлаждающих жидкостей, температура разогрева рабочих граней инструмента достигает 1 000 °С.

Для отвода тепла при резании древесины в основном можно рассматривать один путь - тело резца. По этой причине наиболее предпочтительным материалом для изготовления дереворежущих инструментов можно считать высокотеплопроводные стали. В резцах, выполненных из низкотеплопроводных сталей создаётся высокий градиент температур на рабочих поверхностях и заметно увеличивается температура его разогрева. При малых углах заточки резца, также затрудняющих сток тепла, температурные поля становятся более обширными.

Важность тепловых явлений в ходе процесса резания древесины обуславливается их большим влиянием на изменение микрогерметрии резцов, которое в конечном счёте приводит преждевременному износу и затуплению инструмента. Кроме непосредственного влияния высоких температур на потребительские свойства инструмента они способствуют развитию окислительных процессов в районе лезвия, что так же вносит свой вклад в его износ и затупление.

Резец, для изготовления которого применяются материалы невысокой твёрдости (или теплостойкости, т.е. теряющие твёрдость даже при относительно невысоком нагреве) затупляются по причине загиба или смятия лезвия – т.е. в результате пластической деформации. Современные инструментальные стали начинают терять твёрдость при температурах около 500 – 700 °С. Однако это значение соответствует реальным температурам на лезвии при эксплуатации дереворежущего инструмента при жёстких режимах обработки, характерных для современных производственных процессов. Таким образом можно говорить о комплексном, термомеханическом характере воздействия на рабочий инструмент.

Кроме вышеперечисленных факторов на работоспособность инструмента оказывают негативное влияние и факторы химического характера. При трении на износ стали влияет состав окружающей её газовой среды. Износ резко увеличивается при насыщении газовой среды кислородом. Не последнюю роль играют и продукты термодеструкции древесины- в первую очередь, содержащая комбинацию агрессивных органических кислот, их жидкая составляющая. Структурные группы стали в кислых средах образуют микрогальванические элементы, приводящие к электрохимическим коррозионным процессам.

Доля химических составляющих в балансе ведущих факторов затупления растёт вместе с увеличением твёрдости и теплостойкости материала инструмента, так как их вклад в затупление последнего носит растянутый во времени характер.

Выводы

Процессы затупления и износа дереворежущего инструмента многофакторны и до конца не изучены.

На различных этапах жизненного цикла инструмента ведущие факторы, приводящие к износу и затуплению могут изменяться по своему вкладу в общую картину снижения и потери работоспособности инструмента.

Поиски оптимальных методов увеличения износостойкости инструментов должны учитывать всю гамму факторов (механических, химических, пьезоэлектрических и иных) присущих конкретно обрабатываемому материалу.

Библиографический список

1. Кузнецов В.Д. Физика твёрдого тела. Т 3., Томск, 1994.- 320 с.
2. Ивановский Е.Г. Резание древесины.- М., Лесная промышленность 1975.- 200 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 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8883-9771
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Вохмянин Николай 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 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 литер У, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код
e-mail arcan65@mail.ru

Аннотация

В данной статье делается анализ существующих математических моделей процесса резания древесины и факторов, влияющих на процесс резания и определяющих жизненный цикл дереворежущего инструмента.

Ключевые слова: древесина, износ, затупление, деструкция, износостойкость

УДК 684.4-18.053

Разделы рубрикатора ГРНТИ 55.22.01, 55.21.00

Химическая переработка древесных отходов на предприятиях лесопромышленного комплекса

Синицын Б.В., Угрюмов С.А.

Введение

Известно, что там, где производство, там и отходы. Так и на лесозаготовительных и лесоперерабатывающих предприятиях на всех стадиях технологического процесса образуются древесные отходы разных видов, объем которых зависит от технологии заготовки или переработки древесины и варьируется в широком диапазоне. Отходы на лесозаготовительных предприятиях представлены в виде корней, пней, сучьев, щепы, опилок, зеленой массы, составляющие от 30 до 50 % от общей биомассы дерева [1]. Отходы деревоперерабатывающих предприятий представлены, как правило, в виде кусковых древесных отходов, опилок, стружки и иных дискретных древесных частиц, а также коры, составляющих до 80% от объема перерабатываемой древесины[2].

В настоящее время весьма актуален вопрос вторичного использования отходов лесозаготовки и деревопереработки. Повышение эффективности переработки древесины обеспечивается комплексным использованием древесного сырья, с созданием новых видов продукции разного функционального назначения и глубокой переработкой образующихся отходов.

Существует несколько способов глубокой переработки древесных отходов – механический, биологический и химический [3]. В результате переработки отходов получают новые продукты и изделия, что в значительной мере обеспечивает экономию ресурсов. В данной статье рассмотрен химический способ переработки древесных отходов.

Сущность химической переработки древесных отходов

Метод химической переработки древесины и древесных отходов включает в себя несколько главных направлений – углежжение, выработка спирта, уксусной кислоты, фурфурола, канифоли, скипидара, целлюлозы и иных веществ. При этом основными способами химического разложения лигноуглеводного комплекса древесины является пиролиз и гидролиз [4].

При гидролизной обработке древесных опилок или щепы 0,3...0,5%-ным раствором серной кислоты при температуре 170...180 °С и давлении 7...10 атм. В ходе такой обработки гемицеллюлозы и часть целлюлозы гидролизуются и превращаются в сахара. Оставшийся после такой обработки лигнин отделяется от раствора сахаров и используется, например, в качестве наполнителя в производстве полимерных материалов – пластических масс, каучука. Раствор сахаров нейтрализуется известковым молоком и направляется в бродильные чаны, где протекает биохимический синтез этилового спирта. Помимо этилового спирта, идущего на производство каучука, при гидролизе древесины получают пищевую глюкозу и фурфурол, идущий в производство пластических масс, а также дрожжи, содержащие собой ценный корм для животных, птиц, рыбы. Из 1 тонны древесины получают 150...180 литров 95%-ного этилового спирта, 30...40 килограмма дрожжей, 4...7 килограмма фурфурола [5]. С точки зрения организации производства гидролизный метод требует больших затрат на капитальные вложения, затратах с точки зрения расхода воды, теплоносителей, рентабелен только при больших объемах переработки древесины или древесных отходов.

В свою очередь, процесс пиролиза основывается на разных свободно-радикальных реакциях термодеструкции целлюлозы, лигнина и гемицеллюлоз. Эти реакции происходят в условиях температур от 200 до 400 °С без доступа воздуха. Пиролиз древесины является экзотермическим процессом, в ходе которого получается большой объем тепла (примерно 1150 кДж/кг). Главными этапами пиролиза лесоматериалов является: измельчение древесных отходов;

высушивание измельчённой древесины; пиролиз; охлаждение и стабилизация угля, чтобы предотвратить самовозгорание; процесс конденсации паров летучих продуктов.

Наиболее длительной и энергозатратной стадией в процессе пиролиза является сушка древесины до уровня влажности 15%. Сушка осуществляется в условиях температуры 130...155 °С при помощи подвода внешнего тепла, при этом из лесоматериалов удаляется вода, а также меняются некоторые компоненты древесины. Далее температура поднимается до отметки 280...455 °С [6]. В этих условиях начинается испарение и образование основного объема продуктов разложения лесоматериалов, при этом происходит активное высвобождение тепла (экзотермический процесс) с выделением большого количества CO₂, CO, CH₄, эфиров, карбонильных соединений, углеводородов, уксусной кислоты, ее гомологов и метанола. В самом конце удаляется смола и начинается прокаливание древесного остатка. Температура поднимается более 500 °С, во время этого процесса выделяется и удаляется тяжелая смола, а также CO₂, H₂, CO и углеводороды. Это и есть окончание пиролиза, а полученный остаток является древесным углем. Объем полученных продуктов пиролиза древесины очень различается, все зависит от размера кусков лесоматериалов, температуры процесса, его длительности, а также уровня влажности сырья.

Сам процесс пиролиза протекает в ретортах – цельносваренном металлическом сосуде цилиндрической формы. Внутренний диаметр реторты от 2,5 до 2,9 метров, толщина стенок – 15мм, высота около 25 метров [7]. В верхней части аппарата имеется загрузочное устройство для сырья, а в нижней части выгрузочное устройство для угля. Самыми распространенными являются устройства полунепрерывного действия. В них древесина загружается периодически, малыми количествами через равные отрезки времени. Парогазовая смесь отбирается непрерывно, а выгрузка угля происходит периодически, порционно.

В устройствах непрерывного действия все стадии процесса происходят одновременно – в верхней части происходит сушка, далее лесоматериалы прогреваются до температуры разложения, в средней части древесина разлагается, а в нижней прокаливается и охлаждается уголь.

Процесс переработки древесных отходов методом пиролиза обладает большим количеством преимуществ перед гидролизным методом. Главными из которых являются следующие:

- термическое разложение происходит без доступа воздуха, тем самым не образуется токсичных соединений (диоксин, фуран, бензапирен);

- возможность размещения установки на базе любого лесозаготовительного или деревообрабатывающего предприятия благодаря компактности оборудования, замкнутости схемы и экологичности.

Перспективным направлением переработки древесных отходов с позиций ресурсосбережения и повышения экономической привлекательности лесоперерабатывающих производств является организация участков для химической переработки древесины пиролизным методом. Известные установки по пиролизу древесины и древесных отходов могут эффективно использоваться не только стационарно в условиях деревоперерабатывающих предприятий, но также и мобильно в условиях лесосек, что позволяет существенно повысить степень использования сырья выработкой востребованных продуктов, в том числе фурфурола, выход которого зависит от свойств исходного сырья и методов его подготовки перед осуществлением пиролиза [8,9].

Вывод

Таким образом, химическая переработка древесных отходов, главным образом пиролизным способом, позволяет вырабатывать ценные продукты для различных отраслей промышленности при эффективной утилизации древесных отходов, что способствует ресурсосбережению и повышению эффективности использования древесной биомассы.

Библиографический список

1. Матвейко А.П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства / А.П. Матвейко. - М.: Экоперспектива, 2006. - 447 с.
2. Пятакин В.И. Технология и оборудование лесных складов и лесоперерабатывающих цехов / В.И. Пятакин. – М.: МГУЛ, 2008. – 384 с.
3. Пинягина Н.Б. Методология разработки программ развития производств по глубокой переработке древесины / Н.Б. Пинягина // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. –2007. –№ 3. –С. 149-156.
4. Гамова И.А. Комплексная химическая переработка древесины / И.А. Гамова, В.А. Ёлкин. – СПб.: СПбГЛТУ, 2012. –55 с.
5. Болтовский В.С. Комплексная гидролитическая переработка пентозансодержащей растительной биомассы с получением фурфурола и белоксодержащей кормовой добавки / В.С. Болтовский // Химия растительного сырья, 2014. –№ 2. –С. 5-12.
6. Завьялов А.Н. Получение фурфурола при направленном каталитическом пиролизе древесины / А.Н. Завьялов, В.В. Мороз, Л.И. Петровичева // Гидролизная и лесохимическая промышленность. – 1979. –№3. – С. 7- 8.
7. Мишустин О. А. Обзор развития и применения технологии пиролиза для переработки отходов / О.А. Мишустин, В.Ф. Желтобрюхов, Н.В. Грачева, С.Б. Хантимирова // Молодой ученый. – 2018. – №45. – С. 42-45.
8. Платонов А.Д. Влияние предварительной термохимической обработки на выделение фурфурола из древесины бука / А.Д. Платонов, Ю.С. Михайлова, С.Н. Снегирева // Современные проблемы биологического и технического лесоведения. – Воронеж: ВГЛТУ. –2016. –С. 110-113.

9. Платонов А.Д. Выделение фурфурола из древесины дуба после предварительной термохимической обработки / А.Д.Платонов, С.Н.Снегирева, Ю.С.Михайлова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – Воронеж: ВГЛТУ.–2016. – Т. 4. –№ 5-2. –С. 147-150.

Сведения об авторах

ФИО	Синицын Б.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	borismail@ro.ru
ФИО	Угрюмов С.А.
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

Приведен обзор способов химической переработки древесных отходов методом гидролиза и пиролиза. Установлено, что химическая переработка древесных отходов позволяет вырабатывать ценные продукты при эффективной утилизации древесных отходов, что способствует ресурсосбережению и повышению эффективности использования древесной биомассы.

Ключевые слова: древесные отходы, ресурсосбережение, комплексная переработка, гидролиз, пиролиз

УДК 674.8

Разделы рубрикатора ГРНТИ 61.55.99

Измерение плотности тел с положительной плавучестью

Бирман А.Р., Угрюмов С.А., Белоногова Н.А., Локштанов Б.М., Орлов В.В.

Введение

Одной из важнейших физических характеристик древесины является ее плотность, которая определяется отношением массы древесного образца к его

объему [1]. Зная вес и плотность цельной древесины, можно осуществлять учет древесины в кубических метрах плотной массы, что необходимо для определения производительности оборудования, контроля количества отгружаемой потребителю продукции. Также возможно определять и насыпной объем древесины, что важно при расчетах вместимости складских помещений и транспортных единиц (с учетом коэффициента полндревесности) при поставках полуфабрикатов или готовой продукции потребителю. Установление плотности поступившей в переработку древесины важно и по причине отличия усредненных справочных данных от истинного значения величины плотности, так как плотность дерева зависит от влияния климата и почвы, времени рубки и т.д., а в пределах одного сортимента – от его местоположения по длине ствола.

Методы измерения плотности

Измерение плотности требует прямых измерений массы и объема вещества. При этом массу измеряют взвешиванием, а измерение объема твердых тел связано с определенными трудностями. В случае исследования образцов правильной геометрической формы объем находят из измерения линейных размеров. Но правильная форма образцов характерна только для аморфных материалов, к которым не относится древесина (хотя бы по причине изменения ее влажности, а значит и размеров, во времени). При определении плотности образцов неправильной формы вычислить объем образца через линейные размеры невозможно[2].

Известны способы измерения плотности, основанные на использовании различных физических явлений и величин, которые однозначно зависят от плотности. Это ослабление радиоактивного излучения, которым «просвечивают» вещество, скорость распространения звука в веществе и другие. Однако такие способы достаточно сложны, требуют использования дорогой аппаратуры и привлечения квалифицированного персонала. На практике объем твердых тел неправильной формы (или сыпучего материала) определяют методом вытеснения, то есть путем приращения объема жидкости, вызываемого полным погружением в нее испытуемого тела (вещества). Приборы для этой цели получили название объемомеров [3].

Однако главным недостатком известных объемомеров является невозможность их использования для определения плотности образцов, имеющих плотность ниже плотности дистиллированной воды (или иной жидкости, заливаемой в сосуд объемомера), так как образец, имеющий положительную плавучесть, вытесняет при погружении объем жидкости меньший, чем собственный объем. Данный аспект в полной мере относится к образцам из цельной или измельченной древесины. Для полного погружения древесных образцов в жидкость объемомера необходимо использовать некий

толкатель, попадание которого в жидкость с погруженным образцом искажает результат по измерению объема исследуемого образца.

Конструктивные особенности плотномера для определения плотности тел с положительной плавучестью

Нами предлагается новая конструкция плотномера (рис. 1), которая лишена недостатков известных плотномеров и может быть использована для точного оперативного определения объема образцов неправильной формы, обладающих как отрицательной, так и положительной плавучестью. При этом прибор может использоваться при исследованиях как цельных образцов, так и измельченных, например, щепы или пеллет.

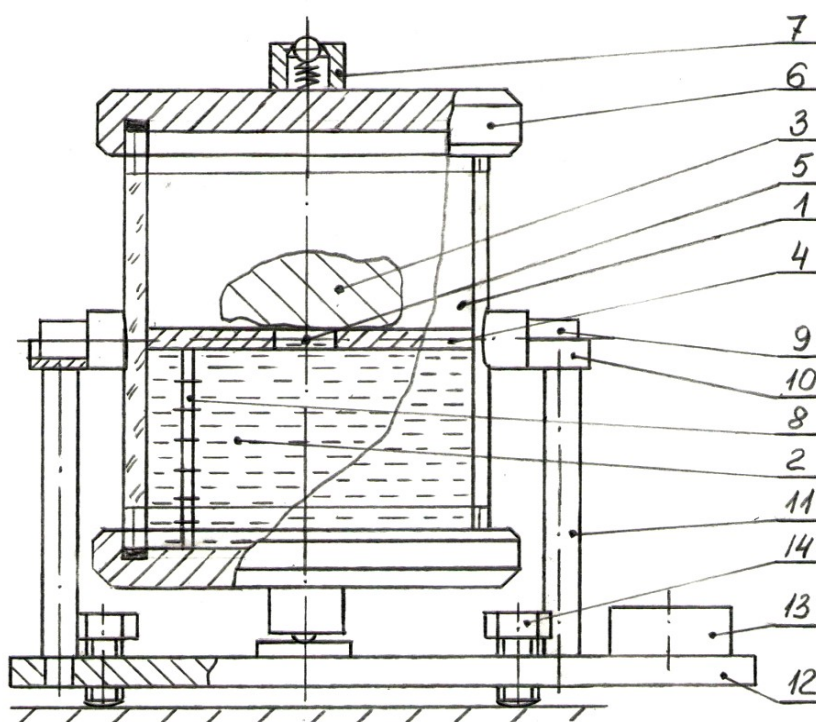


Рис. 1. Снаряженный объемомер перед проведением исследований

Прибор включает прозрачный цилиндрический вертикальный сосуд 1 с жидкостью 2 и исследуемым образцом 3, разделенный на две равные по объему полости жесткой перегородкой 4 с отверстием 5. Сосуд 1 снабжен двумя герметичными геометрически одинаковыми пробками 6 с фиксаторами 7, вертикальной линейкой 8 и жестко скрепленными с сосудом 1 двумя наружными цилиндрическими пальцами 9, ось которых проходит через центр тяжести сосуда 1. Пальцы 9 лежат на опорах вращения 10 вертикальных стоек 11 станины 12, снабженной горизонтальным уровнем 13 и регулируемые по высоте ножками 14.

Установив прибор на горизонтальной поверхности, добиваются горизонтального положения в пространстве его станины 12 с помощью стандартного уровня 13 и регулируемых по высоте ножек 14.

В сосуд 1, вертикально зафиксированный нижним фиксатором 7, со снятой, например, резьбовой верхней герметичной пробкой 6 вливают жидкость 2 в объеме, равном половине емкости сосуда 1. На жесткую перегородку 4 размещают исследуемый образец 3 (или пробу вещества) и герметизируют сосуд 1 пробкой 6. Затем поворачивают сосуд 1 в вертикальной плоскости на 180° на цилиндрических пальцах 9, расположенных на опорах вращения 10 вертикальных стоек 11 и фиксируют вертикальное положение сосуда 1 с помощью фиксатора 7 перевернутой вниз верхней пробки 6.

По завершению вращения сосуда 1 жидкость 2 через отверстие 5 в жесткой перегородке 4 перетекает в ту полость сосуда 1, где и размещен исследуемый образец, или проба вещества. На рис. 2.а представлен вид прибора в период проведения исследований с образцом, обладающим отрицательной плавучестью (образец лежит на дне нижней полости сосуда). В этом положении в верхней полости сосуда оказывается объем жидкости, вытесненный образцом (или пробой вещества) из противоположной полости сосуда, и, очевидно, равный объему образца (или пробы вещества). Величина этого объема определяется визуально по показаниям шкалы вертикальной линейки 8, градуированной в единицах объема.

Плотность вещества ρ предварительно взвешенного образца 3 с массой m определяется по формуле [1]:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (1)$$

где m – масса древесины;

V – объем древесины, определяемый по показаниям шкалы линейки 8.

По окончанию процесса исследования образца (или пробы вещества) поворотом сосуда 1 на 180° возвращают прибор в исходное положение, снимают пробку 7, удаляют образец и приступают к очередному исследованию.

В случае определения плотности образцов с положительной плавучестью образец 3 будет плавать в объеме жидкости нижней полости сосуда 1, а точнее – будет прижат выталкивающей силой к нижней плоскости жесткой перегородки 4 (рис. 2,б).

При исследовании проб вещества жесткая перегородка 4 выполняется с одним или большим количеством отверстий для обеспечения свободного перетекания жидкости 2 из одной полости сосуда 1 в его противоположную

полость. При этом диаметр отверстий в перегородке 4 должен быть меньше наименьшей из частиц, составляющих пробу вещества.

Условие прохождения оси пальцев 9 через центр тяжести сосуда 1 должно выполняться для обеспечения надежной работы фиксаторов 7. Нижняя герметичная пробка 6 выполнена съемной для возможности периодической очистки сосуда 1.

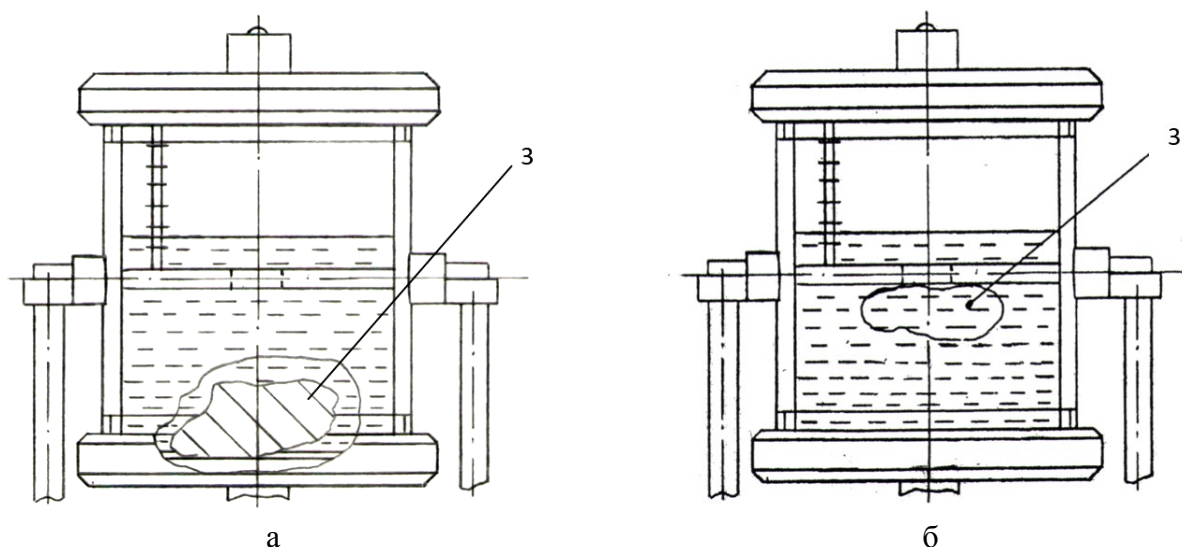


Рис. 2. Устройство в период проведения исследований с образцом, обладающим:
а – отрицательной плавучестью, б – положительной плавучестью

Жидкость, используемая в устройстве, может быть непрозрачной или подкрашенной с целью более точной визуальной фиксации ее уровня по отношению к рискам градуировки линейки 8. Жидкость подлежит замене в случае ее загрязнения частицами, отделившимися от образца или пробы вещества в период проведения исследований.

Станина 12 устройства может быть установлена на весах, что позволит осуществлять измерение массы образцов или пробы вещества одновременно с определением их объема.

Определение емкости сосуда 1 с установленной перегородкой 4 для каждого отдельного устройства предлагаемой конструкции осуществляется перед началом его первой эксплуатации с помощью мерной емкости. Габариты устройства зависят от размеров исследуемого образца (или пробы вещества).

Вывод.

Предложенный прибор для определения плотности древесины и иных твердых тел, в том числе неправильной формы, является простым в изготовлении и удобным в эксплуатации, обеспечивает возможность исследования образцов или проб вещества как в лабораторных, так и в полевых условиях, при этом влажность образцов не влияет на результаты измерений.

Библиографический список

1. Уголев Б.Н. Древесиноведение и лесное товароведение / Б.Н.Уголев. – М.: Академия, 2011. – 272 с.
2. Тамби А.А. Исследование влияния физических свойств и строения древесины сосны на ее прочность/ А.А.Тамби, О.В.Юркова, О.А.Куницкая, М.В. Степанищева // Системы. Методы. Технологии, 2017. –№ 4 (36). –С. 157-161.
3. Анисович А.Г. Стандартные методы определения пористости материалов (обзор) / А.Г. Анисович, А.С. Буйницкая // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя фізіка-тэхнічных навук, 2015. –№ 2. –С. 30-36.
4. Чубинский А.Н.Физические неразрушающие методы испытания и оценка структуры древесных материалов/ А.Н. Чубинский, А.А. Тамби, А.В. Теппоев, Н.И.Ананьева, С.О. Семишкур, М.А. Бахшиева// Дефектоскопия, 2014.– № 11. –С. 76-84.
5. Домостроев А.В. Определение плотности твердых тел методом уравнивания в жидкости // Измерительная техника, 2009. – № 9. – С. 23-26.

Сведения об авторах

- | | |
|--------------------------|---|
| ФИО | Бирман Алексей Романович |
| Организация | Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова |
| Адрес организации | 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия |
| SPIN-код | 3247-9904 |
| e-mail | birman1947@mail.ru |
| ФИО | Угрюмов Сергей Алексеевич |
| Организация | Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова |
| Адрес организации | 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия |
| SPIN-код | 6246-6269 |
| e-mail | ugr-s@yandex.ru |
| ФИО | Белоногова Наталья Александровна |
| Организация | Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова |
| Адрес организации | 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия |
| SPIN-код | 8883-9771 |
| e-mail | birman1947@mail.ru |
| ФИО | Локштанов Борис Моисеевич |
| Организация | Военная академия связи имени Маршала Советского Союза |

Адрес организации С.М. Буденного
194064, Тихорецкий пр., д. 3, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4014-2820
e-mail blokshtanov@mail.ru

ФИО Орлов Виталий Владимирович
Организация Военная академия связи имени Маршала Советского Союза
С.М. Буденного
Адрес организации 194064, Тихорецкий пр., д. 3, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7858–2792
e-mail artictvetal1987@gmail.com

Аннотация

Приведена конструкция плотномера для оперативного определения объема тел неправильной формы, обладающих положительной плавучестью, например цельной, измельченной древесины и иных тел. Прибор является простым в изготовлении и удобным в эксплуатации, обеспечивает возможность исследования образцов или проб вещества как в лабораторных, так и в полевых условиях. Влажность образцов не влияет на результаты измерений.

Ключевые слова: плотность, древесина, плавучесть, проба вещества, полнодревесность, измерение, плотномер.

УДК 531.75.06

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.05

К вопросу о прочностных расчетах сооружений

**Эйвазов А.Ф., Кабалик М.В., Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.,
Добрынин Ю.А., Беспалова В.В., Диязетдинов Р.Р.**

Введение

В наши дни иметь базовое представление о сопротивлении материалов необходимо иметь каждому человеку. Так как эти знания помогают не только в профессиональной среде, например, при производстве автомобилей и механизмов, при строительстве объектов и сооружений, но и в быту: своими руками соорудить стеллаж, построить на даче сарай и так далее [5, 14]. Для того чтобы предотвратить неудачу, обрушение необходимо знать и уметь высчитывать нагрузку [1, 18].

Упоминания о расчетах прочности уходят в глубокую древность [2, 14]. Еще в античности знаменитый древнегреческий ученый Архимед пытался выяснить прочность крепостных стен при осаде врагами города [11, 12, 14].

Цели и задачи

Перед непосредственным началом любого строительства будь то здание, мосты, машины, в первую очередь всегда разрабатывается проект, тщательно выбираются материалы, выполняются чертежи, вычисляются размеры, габариты объектов [3, 8]. В сопротивление материалов учитываются величины и характеристики сил, которые будет воспринимать каждый элемент сооружения, условия эксплуатации [4, 17]. Это необходимо для того, чтобы строящийся объект в процессе не деформировался и не разрушился [9, 16].

Методика исследования

Необходимость сопротивления материалов в наши дни невозможно переоценить. Это связано с тем, что все сооружения с каждым днем становятся все крупнее и выше [10]. Создаются все новые конструкции, все более сложных строений: корабли, самолеты, машины. Подвижные детали узлов работают на все более высоких скоростях, при возрастающих мощностях, давлениях и температурах [13, 15]. При строительстве используются новые материалы, созданные с применением новейших технологий [6].

В связи с этим на плечи инженера ложится и новая задача по обеспечению безопасности и устойчивости конструкции [7], путем правильных расчетов, дабы исключить потерю ресурсов и человеческих жертв.

Именно поэтому сопротивление материалов является важнейшей дисциплиной в технических учебных заведениях [13].

Сопротивление материалов – это дисциплина о методах и способах расчета элементов конструкций на прочность, жесткость и устойчивость [15].

Прочность. Критерием прочности конструкции считается ее возможность противостоять воздействию внешних нагрузок. Так же имеется такое понятие как запас прочности – это обеспечение целостности конструкции при нагрузках, превышающих расчетные [17].

Жесткость. Жесткость – это способность конструкции, а также ее элементов и материала, из которого они созданы, сопротивляться изменению относительно первоначальных размеров и форм. Расчетами на жесткость определяются оптимальные размеры, формы и материал конструкций [13].

Устойчивость. Под устойчивостью в сопротивлении материалов понимается способность конструкции, под воздействием внешних сил, сохранять необходимое равновесие. Колонна (длинный стержень) может отвечать требованиям прочности, жесткости, но не выдерживать нагрузок вдоль оси и изогнуться, что повлечет за собой потерю устойчивости [15].

Особое место в машиностроительном проектировании имеют статические расчеты конструкции на прочность. Часто возникает потребность в оценке состояния напряженности конструкции, в общем, и ее деталей [13]. В первую очередь при проверочном расчете изделия на прочность расчетчика интересуют:

- распределение составляющих напряжений по объему элементов конструкции. По этим данным делаются выводы о наиболее уязвимых местах конструкции, что позволяет на этапе проекта решить проблему и добиться равнопрочности [5, 7];

- максимальные значения компонентов напряжений в материале. В соответствии с различными теориями прочности, по отношению максимальных расчетных значений напряжений к максимальному допускаемому для данного материала, можно сделать выводы о надежности конструкции в плане ее прочности (способности не разрушиться) под действием приложенных к конструкции нагрузок [10, 13].

Результаты и обсуждение исследований

Таким образом, основной задачей инженера становится выбор подходящих материалов, а также размеров элементов конструкции таким образом, чтобы эти элементы выдерживали необходимый уровень нагрузок, который будет действовать на них [3]. Здание или мост состоит из отдельных элементов как балки и сжатые или растянутые стержни [11]. Для того чтобы произвести необходимые расчеты, инженер должен в первую очередь определить уровень нагрузки и дать оценку вызванному влиянием этой нагрузки [16]. Например, чтобы рассчитать стальную балку, нужно сначала определить нагрузки и реакции, действующие силы и моменты, и точки их приложения [7]. Если проектируется ферма (состоящая из сжатых и растянутых стержней), то нужно определить нагружение каждого стержня [12]. На этом этапе проектирования, называемом предварительным прочностным расчетом, балка и ферма существуют лишь в виде линейных (одномерных) диаграмм [2-4].

Далее необходимо определиться с необходимыми размерами. Здесь, однако инженер не занимается расчетом распределения напряжений и деформации элементов конструкции, он руководствуется уже имеющимися вычислениями максимально допустимых напряжений, которое закреплено в нормативном акте [5]. Руководствуясь нормативами, проектировщик рассчитывает элементы конструкции таким образом, чтобы в наиболее нагруженных сечениях уровень напряжения не превышал максимально допустимое значение.

Основные факторы расчета на прочность [2].

Равновесие сил. Значительную роль в расчете прочности конструкции играет закон равновесия сил. Основной задачей инженера-прочника является проектирование конструкций, которые бы выдерживали влияние внешних нагрузок [2].

Конструкция должна оставаться устойчивой несмотря на то, что силы и моменты могут быть вызваны не только статическими нагрузками, это тоже необходимо учитывать. Следовательно, для элемента конструкции, лежащего в определенной плоскости и нагруженного в этой плоскости, силы должны уравниваться [6]. Это выражается представленными ниже уравнениями для системы не сходящихся (не пересекающихся в одной точке) сил, лежащих в одной плоскости:

$$\begin{aligned} (1) \quad & \sum F_x = 0, \\ (2) \quad & \sum F_y = 0, \\ (3) \quad & \sum M_{xy} = 0. \end{aligned}$$

Эти уравнения говорят о том, что должны быть уравновешены:

- 1) сумма горизонтальных составляющих сил,
- 2) сумма вертикальных составляющих сил
- 3) сумма моментов сил относительно любой точки в данной плоскости.

Если конструкция статически определима, то уравнений (1)–(3) достаточно для анализа эффектов, связанных с данной системой сил. Если же число неизвестных сил или факторов больше трех, то такая система является статически неопределимой [5]. Она может быть статически неопределимой относительно внешних нагрузок и реакций, как, например, неразрезная балка с двумя пролетами, или внутренне статически неопределимой, как, например, ферма с избыточными диагональными стержнями [10].

Нарушение форм и размеров элементов конструкций происходит под воздействием внешних нагрузок:

- статических (т.е. величина не изменяется со временем);
- циклических (изменяется со временем);
- динамических (возникают внезапно, влияют лишь кратковременно).

Статические и динамические нагрузки.

Нагрузки, которые воздействуют на элементы конструкции, делятся на статические и динамические.

Действие статических нагрузок не изменяется и всегда одинаково. Их часто называют гравитационными, поскольку направление их воздействия

вертикально [12, 13]. К статическим нагрузкам относится, например, настила моста, здания, механическое оборудование, закрепленного на определенном месте.

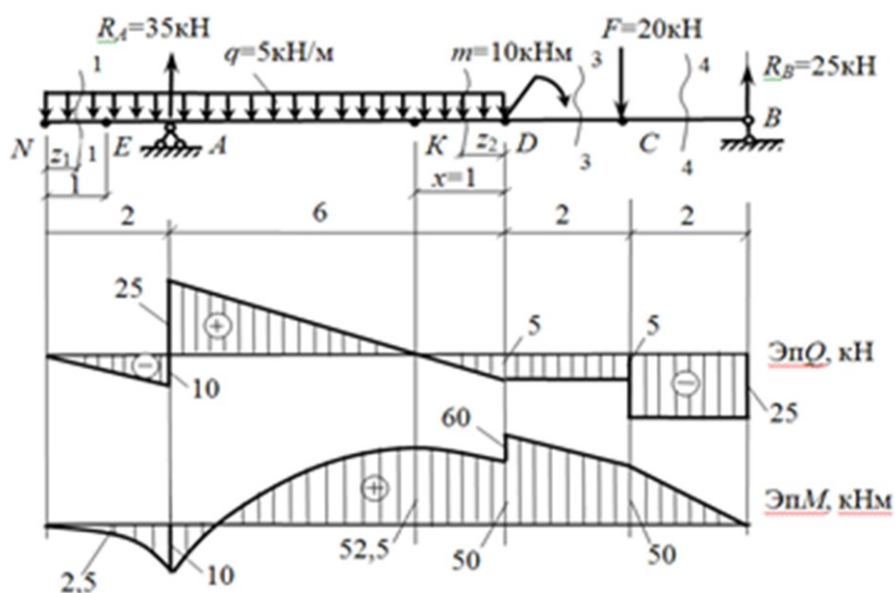


Рис. 1. Нагрузки и деформации, изучаемые в сопротивлении материалов.

Динамические нагрузки могут возникать, исчезать, а также менять направление, следовательно, и место своего воздействия. Такие нагрузки создаются людьми в зданиях, автомобилями на мостах, машинами в цеху и так далее [16, 18]. Такие нагрузки достаточно упорядочены и не составляют труда для вычисления, однако есть и другой тип нагрузок, которые невозможно вычислить заранее, это, например, и ветер, и землетрясения, температурные колебания, различного рода удары. В таких случаях инженеры используют такое явление как коэффициент запаса, а также особые специальные методы прочностного расчета. В этих случаях используются специальные методы прочностного расчета и коэффициенты запаса [3, 15].

Заключение и выводы.

В конце данной статьи хотелось бы отметить, что при выполнении подобного рода расчетов, для наглядности, как правило, определяются графики функций внутренних силовых факторов относительно координатной оси, направленной вдоль продольной оси стержня. Такие графики называются эпюрами.

Хочется отметить, что сопротивление материалов – это элемент культуры инженера [2-7], если это выкинуть, то, как он вообще узнает о том, что есть различные типы нагружения, простейшие типы напряженного состояния, например, растяжение и сжатие (растянутые и сжатые волокна), поперечный или продольный сдвиг, кручение, изгиб, сложный изгиб [10-13, 16, 17].

Библиографический список

1. Беспалова В.В., Грязькин А.В., Беляева Н.В., Кривоногова А.С. Проблемы и основные направления развития лесной отрасли // Экономика и эффективность организации производства. №30. – Брянск: БГИТА, 2019. – С. 13-16.
2. Бирман А.Р. Анализ эксплуатационных параметров уплотненной древесины / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.9-12.
3. Бирман А.Р., Кривоногова А.С. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях ландшафтной архитектуры // Актуальные графические технологии. Выпуск I: Современные и традиционные изобразительные средства в ландшафтном проектировании - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.
4. Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Кривоногова А.С., Тоан Нгуен Ван Критический анализ использования способов пропитки с целью повышения качественных характеристик древесного сырья // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2016. – 159 с. С. 58-60.
5. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Марков В.А. Иванов Л.Д., Девяткин А.В. Предпосылки к теоретическому обоснованию закономерностей изменения прочностных характеристик уплотненной древесины // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 247-252.
6. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Скворцов В.В., Осипов Ф.М. К вопросу о теоретическом обосновании закономерностей изменения прочностных характеристик от степени уплотнения древесины // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 278-284.
7. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. Теоретическое обоснование зависимости изменения прочностных характеристик от коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 252-261.
8. Кривоногова А.С. Вопросы определения экономической эффективности применения прессованной древесины при производстве в современных социально-экономических условиях / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.35-39.
9. Кривоногова А.С., Добрынин Ю.А., Соколова В.А., Нарметов Темур Экономической эффективности применения прессованной древесины в производстве в контексте современных социально-экономических условий // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 261-269.
10. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – С. 293-302.
11. Кривоногова А.С. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. //

- Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.
12. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными качественными характеристиками в конструкциях садово-паркового строительства. Исторический ракурс / Кривоногова А.С. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 212-218.
 13. 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.
 14. Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в строительных конструкциях // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 269-278.
 15. Кривоногова А.С. Сопротивление материалов: учебное пособие по выполнению прочностных расчетов в контрольных и курсовых работах для подготовки бакалавров заочной формы обучения / Кривоногова А.С., Фурин А.И., Бачериков И.В. – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 80 с.
 16. Кривоногова А.С., Nguen V.T., Соколова В.А., Бирман А.Р., Беспалова В.В. Теоретическое обоснование процесса движения жидкости в капиллярно-пористых средах в контексте повышения прочностных характеристик материала // Системы Методы Технологии. Выпуск 3 (39) – Братск.: БрГУ», 2018 г. – 164 с. С. 130-135.
 17. 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.
 18. Соколова В.А., Кривоногова А.С., Иванов А.М., Марков В.А., Парфенопуло Г.К. Пути улучшения качества продукции на деревообрабатывающем предприятии // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 50-55.

Сведения об авторах

ФИО	Эйвазов А.Ф.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	thefezerstyle@gmail.com
ФИО	Кабалик М.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код	отсутствует
e-mail	m.kabalik@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Добрынин Ю.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5526-1250
e-mail	dobrynina-дег@mail.ru
ФИО	Беспалова В.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1483-7640
e-mail	weronika2002@yandex.ru
ФИО	Диязетдинов Р.Р.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	diyazetdinov_radmira@stroilab.com

Аннотация

В статье представлена информация о том, что инженер должен быть квалифицированным специалистом и хорошо владеть знаниями математики и механики и правильно определять силы, которые будут действовать в конструкции, чтобы она не обрушилась.

Ключевые слова: деформация, нагрузка, сила.

УДК 72.023:694.1

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.05; 66.43.31; 67.09.41; 67.11.37

Применение лесоматериалов с заданными характеристиками в строительных конструкциях: исторический ракурс использования

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Беспалова В.В., Аннаев Г.

Введение

Как было изложено в ранее представленных работах, рассматривали лесоматериалы как одним из самых распространенных и широко используемых строительных материалов с многовековой историей применения [2-5, 9-12]. Главными причинами широкого круга применения лесоматериалов – это самовосстановление природного материала. И Российская Федерация (как и в исторические времена, Российская Империя) является крупной державой по наличию запасов лесных ресурсов, в том числе и ценных пород древесины [20].

Многообразные свойства древесины, непередаваема красота, возможность создавать с его помощью разнообразные формы, а также надежность, прочность древесины и ее способность выдерживать большие нагрузки способствовали возведению многочисленных объектов [19, 22], ценных архитектурных сооружений – от северных бревенчатых церквей и фахверковых сооружений средневековья до старинных деревянных мостов [11-13, 15]. Древесина обладает свойствами, которые делают ее технически и функционально применимой в строительстве [6], но и побуждают испытывать симпатию к этому материалу [1].

Цели и задачи

Рассмотрим лесоматериалы как один из видов природных строительных материалов, запасы которого можно варьировать. Если высаживать новые леса, его запасы будут неисчерпаемы. Хотя вырубка массивов девственных лесов и посадка новых из пород древесных одного вида стройными рядами встречает на своем пути определенную оппозицию. Здесь можно отметить, что в период Римской Империи леса на территориях современных государств Англии, Франции, Германии давно исчезли и были заменены искусственным

ландшафтом [21]. А в странах, где в естественных условиях не произрастают быстрорастущие и пригодные породы древесных в качестве лесоматериалов, необходимо организовать искусственные посадки привозных сортов, например некоторых видов сосны с лучшими качествами и характеристиками, как материала [4, 9, 11,12]. Испытывая образцы лесоматериалов на различные прочностные характеристики, согласно теории вероятности, можно предсказать прочность 95% материалов, используемых в индустрии [24]. Например, стойкость лесоматериалов к биологическому воздействию представляет серьезную проблему для эксплуатации древесины. А если известны параметры температуры, влажности, скорости движения воздуха в процессе использования и эксплуатации лесоматериалов, эти условия можно воспроизвести в лабораторных условиях и определить стойкость различных пород древесины к воздействию грибков, насекомых [6, 17].

Методика исследования

Можно пронаблюдать как во второй половине XIX века многие ученые, исследователи представляли будущее всего человечества, в условиях активного и неудержимо развития, когда общество исчерпает, израсходует естественные богатства Земли. И уже в середине XX века, после Второй мировой войны сказалась резкая нехватка многих видов природного сырья [23]. Основными поставщиками сырья являлись страны, находившиеся под колониальным гнетом, но в последствие, получившие политическую независимость. Что представило возможности для прогнозирования дальнейшего развития, но из-за разразившегося энергетического кризиса в конце XX века поиск решений остается актуальным уже на протяжении не одного десятилетия [4, 11, 12], и в начале XXI века остается высоко актуальным. Многие отрасли индустрии являются крупными потребителями природного сырья, как лесоматериалы, и вопросы качества этого сырья и возможность исчерпаемости его поставок стоят очень остро [9, 12].

Результаты промышленной революции, развитие, индустриализация производства, прогресс науки и техники позволили изучить, исследовать, применять новые методы в сохранении и улучшении природных качеств сырья лесоматериалов. Например, развитие производства новых гидроизоляционных пропиток и клеев способствовало расширению сферы использования лесоматериалов в различных индустриальных производствах, например, в строительстве [8].

Опыт применения лесоматериалов в истории в различных сферах жизнедеятельности человека насчитывает многие тысячелетия. До наших дней дошли некоторые отчеты и документы, где упоминается о возведении объектов с применением деревянных конструкций [8, 24]. Не располагаем оригиналами

античных манускриптов, но благодаря усилиям ученых, удалось установить тексты ряда книг греческих и римских авторов, имевших отношение к строительной науке [22]. А именно, обработка и применение лесоматериалов во все исторические периоды рассматривается как раздел строительных материалов, в соответствии с этим исторический опыт использования в той или иной мере лесоматериалов, рассматриваем как раздел строительной науки, суть производство строительных материалов [2, 3, 5, 10, 12]. От многих построек и сооружений сохранились лишь отдельные фрагменты, в силу того, что применялись деревянные конструкции без технологии сохранения и улучшения качества древесины. Небольшое число деревянных сооружений дошло до нас средневековья. Опыт использования лесоматериалов с различными прочностными характеристиками в строительстве Китая и Японии, пришедший в Европу с некоторыми научными идеями, также интересен для исследования, и возможен в силу того, что сохранилось немало объектов. В отдельных случаях историкам сложно рассматривать тот или иной опыт, вследствие стихийных бедствий.

На примерах некоторых исторических объектов с применением лесоматериалов в качестве строительного материала для изготовления конструкций. Римские деревянные сооружения не дошли до нашего времени, но имеются документы с их описанием. В описании «Галльская война» приводится пример возведения деревянного моста через Рейн протяженностью около 400м, из деревянных свай квадратного сечения 450мм, опущенные и забитые в дно реки, с шагом 12м. Подлинные чертежи не сохранились, но в XVI века Андрео Палладио выполнил эскиз этого сооружения с описанием. Конечно, можем только предполагать о характере римских деревянных сооружений и способах обработки деревянных конструкций по их описаниям. Например, некоторые описания Витрувия в дополнение к археологическим данным и результатам раскопок, произведенных в Англии, и реконструкции деревянного складского здания в плане 48×30м. Суть, что деревянный настил следует делать из зимних дубовых досок с целью предотвращения коробления, затем настил необходимо покрыть циновками или соломой, чтобы защитить от повреждений известью, т.к. верхний слой – это смесь из мелкого щебня, извести и размельченной черепицы. В описания Витрувия в своих сочинениях уделялось много информации о пригодности строительных материалов, их качества, в том числе и лесоматериалам, например, когда требуется сделать сводчатые потолки, на промежутках двух футов горизонтально ставят кружала, преимущественно кипарисовые, так как еловые скоро подгнивают и недолговечны... По расположению кружал к ним привязывают лыком из испанской лозы расплющенный греческий тростник... Ель, как состоящая от

природы из более легких веществ, то есть, имея в себе больше всего воздуха и огня и меньше всего влаги и земного начала, не тяжеловесна. Будучи тугой по своей природной стойкости, она нелегко сгибается под тяжестью, но остается в настиле ровной. Но имея в себе порядочно тепла, она порождает гниль и от нее портится, к тому же быстро загорается... Летний дуб, как вдоволь изобилующий земными началами и имеющий мало влаги, воздуха и огня, будучи врыт в подземные сооружения, сохраняется на вечное время. И когда он подвергается действию влаги, не имея пористых отверстий он не может, благодаря своей плотности, вбирать в древесину жидкость, но, избегая влаги, противится, корезится и дает трещины в сооружениях... [18]. В какой-то степени комментарии Витрувия по характеристикам качества строительных материалов имеют недостатки в отношении лесоматериалов, но вполне логичны, чему имеет смысл уделить внимание исследования в отношении сохранения и улучшения качеств лесоматериалов.

В период постепенного упадка Римской Империи, несмотря на распад императорской власти, в Риме поддерживался высокий уровень общественных служб, ведь большинство уцелевших памятников инженерного искусства были сооружены уже после падения Римской республики. В период Византийской империи возводилось много христианских храмов и соборов и мусульманских храмов, при их строительстве широко были распространены купола с применением конструкций из лесоматериалов, число которых превышало, в свое время, каменные сооружения. По причине, что конструкции из древесины обладают хорошей прочностью на растяжение, и сооружения не требовали устройства контрфорсов. Один из наиболее древних сохранившихся сооружений с деревянным куполом – Храм на Скале в Иерусалиме. Также деревянные купола особенно были распространены на Руси, в силу изобилия лесоматериалов, и применения луковичных куполов, которые просты при монтаже в деревянных конструкциях.

На территории Западной Европе сохранилось немного средневековых сооружений с применением лесоматериалов, наиболее известное деревянное покрытие Большого зала старого Вестминстерского дворца, 1394-1402 гг. Замечено, что формы местных деревянных конструкции мало изменились в период от XI до XVII вв. Лесоматериалы широко применялись при монтаже фахверка ограждающих стен, подпорных столбов в стропильных системах (также полностью выполненных из лесоматериалов). Отметим, что в средневековых сооружениях Китая и Японии, где активно применялись лесоматериалы в монтаже стропильных систем, исторических конструкций практически не сохранилось. Не вследствие потери качества лесоматериалами, а ввиду регулярной их замены на идентичные, с улучшенными качествами

[7, 9, 12]. При возведении средневековых готических соборов основное использование лесоматериалов нашло применение при возведении сводов. Изначально возводилась деревянная крыша, защищавшая впоследствии свод, затем сам свод, и монтажный каркас из лесоматериалов с подъемными механизмами для подъема камней на высоту.

В эпоху Средневековья основные области применения лесоматериалов как строительных конструкций были стропильные системы и каркасы для возведения сводов, то в эпоху Возрождения характер использования лесоматериалов несильно изменился. Сохранилось много трактатов с описанием стропильных ферм, ссылавшихся на опыт римских правил проектирования. Римские правила проектирования, в том числе с применением лесоматериалов, были возрождены Андреа Палладио в «Четырех книгах об архитектуре», MDLXX г. (1570 г.).

В трактате Андреа Палладио Первой книге в разделе «О дереве» дает опытные рекомендации, о заготовках, переработке и другие комментарии относительно лесоматериалов. Интересный исторический опыт по заготовкам и сохранению качеств лесоматериалов. Лес должно рубить осенью и в течение всей зимы, так как в эту пору деревья возвращают себе из корней всю силу и крепость, которые тратятся весной и летом на листья и плоды; рубить его надо, когда нет луны, ибо в это время он бывает беден тем соком, который разрушительно действует на древесину; тогда и впредь он не будет страдать от червя и древооточца. Дерево надо надрезать только до половины сердцевины и в таком виде оставлять его сохнуть; тогда начинает просачиваться наружу сок, производящий гниение. Срубленный лес должен быть сложен в такое место, куда не проникает ни солнечный жар, ни резкий ветер, ни дождь; и особенно должно беречь лес, который вырос сам, не будучи посаженным; для того же, чтобы бревна не растрескивались и сохли равномерно, их надо смазать коровьим пометом. Переносить же лес следует не по росе, но после полудня; также не следует обрабатывать его мокрым от росы или чересчур сухим, потому что в первом случае он легко подгнивает, а во втором губит всю работу; он не раньше трех лет будет достаточно сухим для постройки полов, дверей, окон. Каждому хозяину, желающему строить, необходимо заранее осведомиться у опытных людей, понимающих толк в свойствах древесных пород, о том, какое дерево для чего годится и для чего нет. Витрувий в указанном месте дает по этому поводу хорошие наставления, равно как и другие ученые, много об этом писавшие [14]. Конструкции с применением лесоматериалов, спроектированные Андреа Палладио, напоминают античные прототипы безраскосных конструкций. Но деревянные конструкции с диагональными раскосами стали обычными в применении после XVI века. А

стропильные систем на основе расчета треугольника сил, разработанного Стевиным, стали применять только после 1847 г. Но конструкция деревянных стыков, способных работать на растяжение, применялись уже в XV веке, а их прототипы, вероятнее всего, относятся к более ранним периодам [7].

На территории Западной Европе наука быстро развивается в XVII веке. И уже в XVIII веке требуется некая систематизация накопленных знаний в науке и технике. Дени Дидро и Жан ле Рон Д'Аламбер включают в свои труды разделы «ремесла» и «механические искусства», в которых уделяется внимание и лесоматериалам, как сырью для изготовления строительных конструкций. Стремление философов и ученых XVIII века к познанию первопричин возникновения всех проблем подготовило французскую революцию 1789 г., и вызвало многие изменения в различных отраслях науки, в том числе в технологии производства строительных материалов. Создавались различные профессиональные училища, «Школы» разных профилей и направленностей, и в 1795 г. несколько строительных училищ были объединены в Политехнический институт под руководством математика Гаспара Монжа. С этого периода, можно считать, что строительные материалы в обязательном порядке испытывались на прочностные характеристики, подвергались множествам расчетов и пр. Испытание материалов на прочность имело место в порядке отдельных опытов еще в период раннего Возрождения, и лишь начиная с XVII в. производились систематические испытания. Испытания проводились под руководством физиков, составлявших таблицы прочности различных видов древесины на растяжение, сжатие, изгиб. Диапазон испытаний ограничивался мощностью машинного оборудования. Наиболее известные таблицы Петруса ван Мушенброка, профессора физики в университете г. Лейден. Его труд содержит главу «Введение в теорию сцепления твердых тел», 1729 г. Приведенные в ней показатели пользовались высоким авторитетом в течение XVIII и начала XIX столетия. Таблицы Мушенброка по прочности древесины были воспроизведены и опубликованы в 1867 г. издании «Трактата о прочности материалов» профессора Питера Берлоу. В своем труде Мушенброк утверждал, что нет практической необходимости в установлении природы внутренних сил сопротивления, величина которых может быть удовлетворительно определена испытательной машиной. Полагал также, что упругость является внутренней притягательной силой. И эта концепция распространена в наше время, на ряду с концепцией Исаака Ньютона, что частицы тел привлекает друг к другу некая сила, исключительно мощная при непосредственном контакте, на малых расстояниях она осуществляет химическую работу и распространяется весьма недалеко от частиц [7].

Результаты и обсуждение исследований

Начало промышленной революции принято считать после, так называемого периода, когда состоялась ассамблея Генеральных штатов в Версале 5 мая 1789 г. Сам термин «промышленная революция» имел место в кругах историков и экономистов. Но влияние промышленной революции на строительство и изготовление строительных материалов было более значимым, нежели влияние французской революции. Были созданы и усовершенствованы строительные системы и технологические приемы, которые за короткий отрезок времени в полтора столетия полностью изменил методику проектирования, что отразилось на технологии изготовления строительных материалов из сырья лесоматериалов в XX веке, продолжая прогрессивное развитие XXI веке. Необходимы были новые технологии, методы обработки древесины, отвечающие требованиям качества лесоматериалов в современных нестабильных экономических условиях.

Заключение и выводы

Рассматривая исторический обзор влияния качественных параметров лесоматериалов на применение [13, 15, 16] в строительных конструкциях можно получить результаты и некоторые заключения [2, 4, 9, 11, 12]. Северные деревянные дома также служат доказательством того, что дерево именно в условиях сурового северного климата оказывается особенно подходящим, чтобы создавать условия комфортного пребывания и проживания обывателей [2-5, 9-12].

Библиографический список

1. Атлас деревянных конструкций / К.-Г. Гетц, Д. Хоор, К. Мелер, Ю. Наттерер; Пер. с нем. Н.И. Александровой; Подред. В.В. Ермолова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272 с.: ил. – Перевод изд.: Holzbau Atlas / К.-Н. Götz, D. Hoer, K. Möhler, J. Natterer. – München, 1978.
2. Беспалова В.В., Грязькин А.В., Беляева Н.В., Кривоногова А.С. Проблемы и основные направления развития лесной отрасли // Экономика и эффективность организации производства. №30. – Брянск: БГИТА, 2019. – С. 13-16.
3. Бирман А.Р. Анализ эксплуатационных параметров уплотненной древесины / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.9-12.
4. Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Локштанов Б.М., Соколова В.А., Черных Л.Г. Валиева К.Л. Кривоногова А.С. К вопросу о напольных покрытиях из древесины // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С 212-220.
5. Бирман А.Р., Кривоногова А.С. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях ландшафтной архитектуры // Актуальные графические технологии. Выпуск I: Современные и традиционные изобразительные средства в ландшафтном проектировании - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.

6. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан. Модификация древесины мягких лиственных пород методом глубокого уплотнения // Научное обозрение. 2015. Вып. 17. 462 с. С. 90-94.
7. Гущин И.Д., Локштанов Б.М., Бирман А.Р. Кривоногова А.С. Производство топливной щепы из лесосечных отходов при сортиментном способе лесозаготовки // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С 66-71.
8. Коуэн Г. Дж. Мастера строительного искусства: История проектирования сооружений и среды обитания со времен Древнего Египта до XIX века / Пер. с англ. Д.Г. Копелянского; Под ред. Л.Ш. Килимника. – М.: Стройиздат, 1982. – 240 с.: ил. – Перевод изд.: The Master Builders: A history of structural and environmental design from ancient Egypt to the nineteenth century / Henry J. Cowan. – A Wiley – Interscience Publication.
9. Коуэн Г. Дж. Строительная наука XIX- XX вв.: Проектирование сооружений и систем инженерного оборудования / Пер. с англ. В.А. Коссаковского; Под ред. Л.Ш. Килимника. – М.: Стройиздат, 1982. – 359 с.: ил. – Перевод изд.: Science and Building / H/J/ Cowan. – John Wiley & Sons.
10. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Марков В.А. Иванов Л.Д., Девяткин А.В. Предпосылки к теоретическому обоснованию закономерностей изменения прочностных характеристик уплотненной древесины // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 247-252.
11. Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в строительных конструкциях // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 269-278.
12. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Скворцов В.В., Осипов Ф.М. К вопросу о теоретическом обосновании закономерностей изменения прочностных характеристик от степени уплотнения древесины // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 278-284.
13. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. Теоретическое обоснование зависимости изменения прочностных характеристик от коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 252-261.
14. Кривоногова А.С. Вопросы определения экономической эффективности применения прессованной древесины при производстве в современных социально-экономических условиях / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.35-39.
15. Кривоногова А.С., Добрынин Ю.А., Соколова В.А., Нарметов Темур Экономической эффективности применения прессованной древесины в производстве в контексте современных социально-экономических условий // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 261-269.

16. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины [Текст] / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – 427 с. С. 293-302.
17. Кривоногова А.С. Применение лесоматериалов с заданными качественными характеристиками в конструкциях садово-паркового строительства. Исторический ракурс / Кривоногова А.С. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 212-218.
18. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.21.01) / Кривоногова Александра Станиславовна; СПбГЛТУ. – СПб., 2015. – 20 с.
19. Палладио Андреа. Четыре книги об архитектуре / Пер. с итал. И.В. Жолтовского; Под ред. А.Г. Габричеського. – Факс. Изд. – М.: ООО Издательство «Архитектура-С», 2006. – 352 с.: ил.
20. Сергеевичев В.В., Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В. А., Вопросы области применения модифицированной древесины методом глубокого уплотнения // Материалы второй международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 3. – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с., с. 128-130.
21. Соколова В. А., Бирман А.Р., Орлов В.В., Теппоев А.В., Кривоногова А.С., Бачериков И.В., Парфенопуло Г.К. Использование железо-водных и дерево-железных смесей в защите от ионизирующих излучений // Системы Методы Технологии. Выпуск 1 (37), – Братск: ФГБОУ ВО «БрГУ», 2018 г. – 164 с. С. 94-99.
22. Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Локштанов Б.М., Соколова В.А., Кривоногова А.С., Новикова М.А., Сотникова М.А., Голубева А.С. Заготовка древесины, поврежденной энтомофиторами // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 35-40.
23. Marcus Vitruvius Pollio. The Ten Books of Architecture. – Dover, New York, 1960. – 331 p.
24. Parkhomenko G.G., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Rzhavtsev A.A., Reducing the negative impact of undercarriage systems and agricultural machinery parts on soils // IOP Conference series: Earth and environmental science: Earth and Environmental Science. 4th Scientific-Technical Conference on Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education 2019 – Великобритания: Institute of Physics Publishi №315, 2019 – P. 012049.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Беспалова В.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1483-7640
e-mail	veronika2002@yandex.ru
ФИО	Аннаев Г.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	mmu49@mail.ru

Аннотация

В данной статье представлен исторический обзор и систематизация данных по использованию и возможностей качественных показателей лесоматериалов в контексте применения в строительных материалах.

Ключевые слова: древесина, физико-механические характеристики, строительные материалы, строительные конструкции,

УДК 72.023:694.1+674.049.2

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.05; 66.43.31; 67.09.41; 67.11.37

Прочностные характеристики пиломатериалов

Бызов В.Е., Мелехов В.И., Сергеевичев А.В.

Одним из направлений эффективного ресурсосбережения является рациональное использование древесины. В то же время большая часть пиломатериалов, находящихся в товарном обращении поставляются потребителям как обезличенные полуфабрикаты без учёта их конкретного применения. Это приводит к повышенному расходу древесины при производстве конкретных изделий из древесины. Актуальность повышения эффективности использования пиломатериалов вызвана реализацией приоритетного национального проекта «Доступное жильё». Успешная

реализация проекта обеспечения населения Российской Федерации доступным жильём невозможна без интенсивного развития малоэтажного домостроения. В малоэтажном домостроении широко применяются несущие конструкции из древесины. Для их изготовления применяются пиломатериалы разного поперечного сечения, обладающие необходимой прочностью. Для изготовления деревянных несущих конструкций в основном применяются пиломатериалы хвойных пород. Показатели прочности пиломатериалов установлены СНиП II-25-80 «Деревянные конструкции» для сортов пиломатериалов по ГОСТ 8486-86 «Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия». Пиломатериалы относятся к тому либо другому сорту в зависимости от наличия и размеров, присутствующих в них сортообразующих пороков.

Значения нормативных сопротивлений, установленные для пиломатериалов сортов по ГОСТ 8486-86 превышают соответствующие им значения расчётных сопротивлений примерно в два раза. Этот запас позволяет обеспечить необходимые прочностные характеристики элементов конструкций, изготовленных из этих пиломатериалов. Значения расчётных сопротивлений умножаются на коэффициенты учитывающие условия работы, длительность воздействия, усилия от ветровых, снеговых и других видов нагрузок. Это создаёт дополнительный запас прочности элементов конструкций.

Однако существуют противоречия между прочностными характеристиками и показателями качества пиломатериалов, не оцениваемыми количественно. Вопросами оценки качественных и прочностных характеристик пиломатериалов занимались многие отечественные исследователи [1], [2], [3]. В их работах показано, что часть пиломатериалов, используемых для изготовления элементов несущих конструкций, имеют прочностные характеристики значительно выше расчётных значений. В то же время часть пиломатериалов, обладающих требуемой прочностью, не допускаются к использованию для изготовления деревянных несущих строительных конструкций существующей нормативно-технической документацией. Это происходит из-за значительной изменчивости прочностных характеристик древесины пиломатериалов обусловленной различными условиями её произрастания, а также рядом других причин. Ввиду значительной изменчивости прочностных характеристик пиломатериалов в пределах одной сортовой группы находятся пиломатериалы с широким диапазоном пределов прочности. В тоже время прочность пиломатериалов разного сорта может отличаться незначительно. Особенно эта тенденция проявляется в пиломатериалах больших сечений, в которых размеры сортообразующих пороков невелики по сравнению с размерами поперечного сечения пиломатериалов.

Присутствие ряда сортообразующих пороков в конструкционных пиломатериалах, предназначенных для применения в строительстве, не допускается. Так в пиломатериалах для изготовления несущих строительных конструкций не допускается сердцевина по причине того, что вблизи сердцевинной трубки находится слабая в прочностном отношении древесина и велика вероятность появления трещин усушки. Кроме этого сердцевинная трубка может быть поражена гнилью. Однако в пиломатериалах больших сечений (брусках), которые выпиливают из круглых сортиментов, полученных из вершинной части ствола дерева, вышеназванные явления не наблюдаются. Это вызвано тем, что в вершинной части ствола дерева присутствуют в основном здоровые сросшиеся сучки, а сердцевинная трубка имеет хорошее срастание с окружающей древесиной.

Нашими исследованиями установлено, что сердцевина, присутствующая в пиломатериалах больших сечений, полученных из круглых сортиментов, полученных из вершинной части ствола дерева, не снижает их прочность. Такие пиломатериалы представляют собой центральный брус, в котором сердцевина располагается в центральной части его поперечного сечения. Основным напряженно-деформированным состоянием, которое испытывают элементы несущих конструкций, изготавливаемые из пиломатериалов большого сечения, является изгиб нагружением на кромку. При работе элементов на изгиб сердцевинная часть пиломатериалов находится в районе нейтральной оси, где напряжения минимальны и поэтому относительная слабая в прочностном отношении сердцевина не оказывает существенного влияния на прочность элементов конструкций. Кроме того, центральный брус можно условно представить в виде коаксиально наложенных друг на друга кольцевых оболочек, моделирующих годичные слои древесины. Применяв методы строительной механики нами было установлено, что нормальные напряжения, возникающие в кольцевых оболочках ниже чем пластинчатых структурных элементах пиломатериалов получаемых при раскрое круглых сортиментов с вырезкой сердцевины. Поэтому при одинаковых размерах поперечного сечения пиломатериалы, полученные из круглых сортиментов малого диаметра, имеют прочность на 33-38% больше, чем полученные по схеме раскроя с удалением сердцевины. Это подтверждено результатами испытаний по определению пределов прочности образцов центральных брусков из древесины ели и сосны, выпиленных из круглых сортиментов, полученных из вершинной части ствола дерева.

Полученные нами результаты подтверждается расчётами с использованием макроструктурных моделей пиломатериалов, выпиленных из зон, находящихся на разном расстоянии от оси круглого сортимента. Были рассмотрены

пиломатериалы сечением 38x175 мм полученные раскроем круглого сортимента по схеме, предусматривающей получение центральных досок.

Круглый сортимент схематично представляет собой коаксиально наложенные друг на друга кольцевые оболочки, моделирующие годичные слои древесины. Поперечным сечением кольцевой оболочки является набор колец толщиной t . Толщина кольца t равняется толщине годичного слоя. При проведении расчётов приняли ширину годичных колец одинаковой. Сравнительные расчёты были проведены на структурных моделях досок 1 и 2. Части одного кольца на досках 1 и 2 имеют разные размеры и занимают различное положение. Для проведения расчётов части колец на досках представили в виде узких прямоугольных полос толщиной t .

Поперечное сечение досок было смоделировано в виде набора узких прямоугольных полос, расположенных под углом к плоскости распила. Основным напряженно-деформированным состоянием, которое испытывают конструкционные пиломатериалы, является изгиб нагружением кромки. Нормальные напряжения, возникающие в поперечном сечении пиломатериалов, зависят от моментов инерции поперечного сечения полос, находящихся в сечении относительно нейтральной оси. Чем больше значения моментов инерции, тем меньше нормальные напряжения, возникающие в поперечном сечении пиломатериалов. При равных площадях поперечного сечения досок, чем меньше напряжения, тем больше прочность пиломатериалов.

Нами была выдвинута гипотеза, что нормальные напряжения при изгибе возникающие в пиломатериалах, выпиленных из центральной части поперечного сечения круглого сортимента имеют меньшие значения, чем в пиломатериалах, выпиленных из периферийной части поперечного сечения круглого сортимента.

Момент инерции узкой прямоугольной полосы относительно нейтральной оси при изгибе определяется по формуле:

$$J_y' = \frac{t \cdot l}{3} (a^2 + ab + b^2), \text{ мм}^4$$

где t – толщина полосы, мм; l – длина полосы, мм; a – наибольшее расстояние от полосы до нейтральной оси, мм; b – наибольшее расстояние от полосы до нейтральной оси, мм;

Толщину полосы приняли равной 2 мм, что соответствует средней толщине годичного слоя. Парно рассчитали моменты инерции полос, моделирующих один и тот же годичный слой на досках 1 и 2. Отношение

момента инерции полосы на доске 1 к моменту инерции полосы на доске 2 обозначили Q . Результаты расчётов приведены в таблице.

Таблица 1.

Результаты расчетов моментов инерции пиломатериалов

№ п./п.	Расстояние от оси круглого сортимента, мм	Моменты инерции пластин, мм ⁴		Отношение моментов инерции пластин, Q
		на доске 1	на доске 2	
1	88	54,61	40,49	1,35
2	86	51,96	37,58	1,38
3	84	49,37	34,69	1,42
4	82	46,84	31,79	1,47
5	80	44,37	28,85	1,54
6	78	41,96	25,79	1,63
7	76	39,61	21,84	1,81

Зависимость отношения моментов инерции пластин в досках 1 и 2, от расстояния от оси круглого сортимента приведена на графике.

Выводы

Анализ данных приведённых в таблице показывает, что моменты инерции пластин в доске 1 превышают по своей величине моменты инерции пластин в доске 2 в среднем в 1,45 раза. Это подтверждает выдвинутую нами гипотезу о том, что нормальные напряжения при изгибе возникающие в пиломатериалах с сердцевинными включениями принимают меньшие значения, чем в пиломатериалах, выпиленных из периферийной части поперечного сечения круглого сортимента. Присутствие сердцевины в конструкционных пиломатериалах, испытывающих напряжённо-деформированное состояние изгиба на кромку, не снижает их прочности. Это происходит вследствие присущей прилегающей к сердцевине части поперечного сечения круглого сортимента кольцевой структуре обладающей большей прочностью, чем обладает дугообразная структура поперечного сечения пиломатериалов, полученных из периферийной части круглого сортимента.

Библиографический список

1. Боровиков А.М., Уголев Б.Н. Справочник по древесине. М.: Лесная промышленность, 1989. 293 с.
2. Савков Е.И. Прочность пиломатериалов. М.: Гослбумиздат, 1962. 88 с.
3. Боровиков А.М. Качество пиломатериалов. М.: Лесн. пром-сть, 1990. 254 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 tarana@inbox.ru

ФИО Мелехов Владимир Иванович
Организация Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова
Адрес организации 163002, наб. Северной Двины, д.17, г. Архангельск, Россия
SPIN-код 8611-8043
e-mail rector@narfu.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

Аннотация

В данной статье рассмотрены вопросы оценки качественных и прочностных характеристик пиломатериалов. Полученные результаты показывают, что нормальные напряжения, возникающие в пиломатериалах с сердцевинными включениями при изгибе, принимают меньшие значения, чем в пиломатериалах, выпиленных из периферийной части поперечного сечения круглых лесоматериалов.

Ключевые слова: пиломатериалы, прочностные характеристики, сердцевинные включения, круглые лесоматериалы.

УДК 005

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.03.07

К вопросу модификации лакокрасочных материалов и древесины

Соколова В.А.

Курс на развитие рыночных отношений требует коренного перевооружения производства на базе его интенсификации, эффективности форм управления, организации и стимулирования труда.

В области мебельного и деревообрабатывающего производств, одной из причин, тормозящей процесс получения качественной продукции, является острый дефицит новых высокоэффективных материалов для отделки древесины, а также новых способов модифицирования древесины.

Внедрение в производство некоторых новых видов покрытий, таких как покрытия на основе порошковых красок, электродуговые пленки, влечет за собой повышение себестоимости продукции, вследствие того, что для внедрения данных мероприятий необходимо специальное оборудование, дорогостоящие материалы для отделки.

При современном состоянии экономики, предприятия мебельного производства не в состоянии финансировать мероприятия по реконструкции, связанные с крупными капиталовложениями. Задачу получения покрытия нового качества, обладающего повышенными эксплуатационными и декоративными свойствами, нельзя решить без внедрения в промышленность современных технологий.

Решение этих проблем может быть достигнуто путем модификации традиционных лакокрасочных материалов. Специальные модифицирующие добавки, введенные в лакокрасочные материалы, не только повышают технологические и защитно-декоративные свойства покрытий, но и улучшают внешний вид, снижают себестоимость изделия.

Известно, что достаточно эффективными модифицирующими добавками являются пигменты. В нашей стране известна широкая гамма пигментов, которые целенаправленно изменяют свойства покрытий. К ним относятся пигменты на основе хромата кальция, фосфатные пигменты, металлические т.д. [1].

Решение проблемы комплексного, рационального и наиболее эффективного использования древесины для производства высококачественной продукции с минимальным энергопотреблением на данном этапе не может быть решено без экстенсивной разработки и внедрения аспектов изменения качественных показателей древесины, востребованных на современных рынках.

Целевое изменение свойств древесины - современное направление в строительной индустрии. Посредством различных технологий, способов и средств, свойства и характеристики древесины можно изменить существенным

образом. В первую очередь это диктуется жесткими требованиями к современным материалам. Огнестойкость строительных материалов – главное требование. Не менее важным для древесины является требование к повышенной биостойкости, т.к. с этим связано увеличение срока службы конструкций и изделий из древесины. Для повышения огнестойкости и биостойкости древесины используются разнообразные материалы. Эффективность использования разработанных средств и материалов во многом определяется свойствами древесины. В этой связи изучение особенностей структуры древесины разных пород имеет важное значение не только для теории, но и для практики [2].

Модификация – это изменение некоторого объекта с параллельным приобретением им новых функций или свойств, преобразование производства, техники, создание улучшенного варианта, новой методики. Говоря о задачах модифицирования, прежде всего необходимо максимально использовать все ценное, что заложено в древесину природой. В 21-м веке, в области использования древесины, задачи получения материалов из древесины с заданными свойствами выдвигаются на первый план, поскольку древесина является единственным природным возобновляемым материалом.

Модификация древесины – это направленное изменение свойств древесины, позволяющее комплексно улучшить свойства древесины, повышая ее прочность, стабильность размеров и форм, химическую стойкость, био- и огнестойкость и снижая влаго- и водо-поглощаемость, и набухание. Модифицированную древесину целесообразно применять в панелях покрытия и стеновых панелях, особенно в сооружениях с агрессивной средой.

Модифицирование древесины производят с целью изменения ее физико-механических свойств. Так, например, пропитка синтетическими смолами снижает разбухание древесины в 2-4 раза, увеличивает прочность в 2-5, твердость до 78 раз, стабилизирует электрические свойства, увеличивает срок службы. Наиболее известна конвективная обработка древесины синтетическими смолами. Для интенсификации и повышения качества древесного модифицированного материала нередко используют электромагнитные поля высоких и сверхвысоких частот. В результате реакции полимеризации протекают не в течение нескольких часов, а только нескольких минут. В качестве синтетических веществ при модификации древесины используют кремнийорганические соединения (марок КРЖ № 5, КО-815 и др.), полиэфирные смолы (ПН-1), фенолформальдегидные смолы) и др.

В последнее десятилетие наблюдался значительный рост спроса на модифицированную древесину. Повышенный интерес обусловлен желанием повысить стойкость к гниению и долговечность пиломатериалов из сосны

обыкновенной, бука, южной желтой сосны, ясеня, березы, ольхи и многих других. Увеличение продолжительности жизни пиломатериалов обычно требует консервирования, но технология модифицирования древесины делает намного больше, чем это. Он наполняет древесину другими определенными изменениями, такими как размерная биостойкость и максимальная прочность. Производство модифицированной древесины создаст серьезную конкуренцию для лиственных пород, значительно вытеснив импорт особо ценных пород дерева. Дальнейшее развитие модификации дерева, вероятно, будет развиваться в двух основных областях: совершенствование технологии, чтобы сократить расходы и дать новые свойства древесины, в том числе декоративные.

Преимущества модифицированной древесины: экологически чистый материал; высокое качество; долговечность; устойчивость к гнили, насекомым; стабильные физико-механические характеристики; высокая стабильность размеров; огнестойкость; биостойкость; привлекательные и элегантные цвета древесины; низкое сжатие и расширение; сохранение внешнего вида и характеристик; низкие эксплуатационные расходы.

Заключение

Улучшение физико-механических свойств древесины за счет модификации направлено на расширение областей ее применения. Теперь разработка новых способов улучшения прочностных свойств модифицированной древесины с привлечением современных технологий и оборудования является актуальной.

Из вышесказанного следует, что эффективное использование всего комплекса материалов, средств и способов модифицирования древесины связано с решением большого круга вопросов, как технологических, так и технических, что является актуальным и своевременным.

Библиографический список

1. Щуркова, С. Н. Формирование защитно-декоративных лакокрасочных покрытий с перламутровым эффектом на изделиях из древесины: диссертация ... кандидата технических наук: 05.21.05. - Санкт-Петербург, 1994. - 260 с.: ил.
2. Хасаншин Р.Р., Гаянова А.Р., Габдуллин Т.И. Актуальность производства и применения модифицированной древесины. Наука и инновации в 21 веке: Актуальные вопросы, открытия и достижения: сборник статей XIII Международной научно-практической конференции. В 2ч. Ч. 1. –Пенза: МЦНС «Наука и Просвещение». –2019. –228с.

Сведения об авторах

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

SPIN-код 5116-5102
e-mail Sokolova_vika@inbox.ru

Аннотация

Рассмотрены вопросы модификации лакокрасочных материалов, вопросы модификации древесины. Представлены преимущества модифицированной древесины. Представлен анализ спроса на модифицированную древесину.

Ключевые слова: модификация, лакокрасочные материалы, древесина.

УДК 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.00

Анализ влияния рельефа поверхности на конечные свойства лакокрасочного покрытия изделий из древесины

Сергеевичев А.В., Онегин В.И.

Выпуск изделий высокого качества из древесины во многом определяется защитно-декоративным покрытием, формирование которого в настоящее время осуществляется в основном посредством нанесения различного вида лакокрасочных материалов. Свойства современных материалов для обеспечения высоких эксплуатационных качеств лакокрасочных покрытий в настоящее время гарантированы соответствующими показателями лакокрасочных материалов и их модификацией. Эксплуатационные качества лакокрасочных покрытий определяются их физико-механическими свойствами, адгезией к поверхности, твердостью, эластичностью, прочностью на истирание, стойкостью к воздействию тепла, света, влаги, химических реагентов [1].

Поверхность древесины, как и любого твердого тела, отражает специфичность ее внутренней структуры. Однако физический и химический состав поверхностного слоя часто отличается от веществ в объеме тела. Главной особенностью древесины является ее капиллярно-пористое строение с четко выраженной анизотропией свойств в продольном, поперечном, тангентальном и радиальном направлениях. При механической обработке древесины перерезаются волокна и клетки, вскрываются внутренние полости, что приводит к еще большей видоизмененности поверхности. Поэтому, даже при очень высоком качестве поверхности обработанной древесины, на ней присутствуют структурные неровности, обусловленные капиллярно-пористым строением.

В процессе обработки древесины создается искусственная шероховатость, называемая механической, которая отрицательно влияет при смачивании

древесины жидкими материалами, поэтому ее стараются максимально уменьшить, ограничив высоту микронеровностей 16 мкм [2].

Разная шероховатость, поры, следы механической обработки древесины вызывают изменение площади фактического контакта между лакокрасочным покрытием и подложкой. Данное обстоятельство в первую очередь скажется на значении краевого угла смачивания, далее приведет к изменению способности лакокрасочных материалов заполнять неровности твердого тела, вытисняя при этом из него воздух, который препятствует достижению максимально возможного контакта.

Наличие механических неровностей является причиной неравномерности толщины наносимых на древесину слоев лака, в результате чего появляется ряд дефектов, влияющих на декоративные свойства покрытий, особенно на показатель блеска. Блеск – характеристика свойства поверхности, отражающей свет. Блеск обусловлен зеркальным отражением света от поверхности, большей частью происходящим одновременно с рассеянным (диффузным) отражением. Блеск не является четко определенной физической величиной. Он воспринимается как глазом человека на фоне диффузного отражения, так и осязанием. С физической точки зрения блеск – это способность направленно отражать световой поток [3].

Поверхность древесины до ее отделки лакокрасочными материалами обладает незначительным блеском, зависящим от цвета и анатомического строения древесины. Древесина кольцепоровых пород и некоторые рассеяно-поровые имеют меньший блеск, чем древесина светлых пород. Блеск древесины увеличивается с уменьшением длины волны и чистоты цвета. Если сравнивать разные породы древесины по степени блеска, за критерий принимается блеск радиальной поверхности осины [4].

Сложное физико-химическое строение древесины, зависимость свойств не только от породы, но и от положения поверхности среза, наличие пороков, различие в свойствах ранней и поздней древесины приводит к такому положению, что человек не может объективно оценить истинные свойства древесины: рисунок текстуры завуалирован, а цвет древесины более белесоватый. Это объясняется тем, что рисунок текстуры, отражающий анатомическое строение древесины, не лежит в одной плоскости, а является объемным. Выявить эту особенность строения древесины мешает ее низкая прозрачность. Наличие сосудов, капилляров, сердцевинных лучей, следов механической обработки делают поверхность древесины неровной, шероховатой. Такие поверхности имеют только диффузное отражение, но оно имеет двоякий характер. Основной компонент древесины – целлюлоза и воздух, находящийся в порах. Они дают зеркальное отражение, однако, лучи света отражаются от хаотически расположенных неровностей в разные стороны,

соответственно свет рассеивается и отражение получается диффузным, но по своей природе оно остается зеркальным отражением от гладкой поверхности.

Природа покрываемой лакокрасочными материалами поверхности влияет на качество защитно-декоративных покрытий больше, чем любое другое свойство лакокрасочного покрытия. Во всех случаях, учитывая капиллярно-пористое строение древесины, нужно всегда стремиться уменьшить поверхность контакта, в отличие от того, что делают при отделке металлов, пластмасс, резины, керамики и других непористых материалов.

Другой особенностью строения древесины является ее капиллярная проницаемость для жидкостей, различная у древесины разных пород и отличающаяся вдоль и поперек волокон. Резкие различия капиллярной проницаемости вдоль и поперек волокон может приводить к неравномерной окраске и увлажнению поверхности древесины.

Выводы

На основании вышесказанного, можно сделать вывод, что свойства подложки оказывают большое влияние на конечные свойства лакокрасочного покрытия. Рельеф поверхности играет решающую роль в расходе лакокрасочных материалов и номинальную толщину эксплуатационно-способных покрытий.

Библиографический список

1. Онегин В.И., Герасюта С.М., Цой Ю.И., Ляхтинен И.С. К вопросу об отверждении воднодисперсионных лаков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2000. №166. С. 92-97.
2. Сергеевичев А.В. Основные характеристики процесса шлифования древесины и древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 206. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С.124-138.
3. Сергеевичев А.В., Онегин В.И. Физико-химические основы процессов формирования полимерных покрытий на твердой поверхности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 223. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. С.213-227.
4. Онегин В.И. Формирование лакокрасочных покрытий древесины. Монография. Л.: Издательство Ленинградского университета, 1983. 147с.

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	Онегин Владимир Иванович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9893-3612
e-mail	onegin.ltu@mail.ru

Аннотация

Конечные свойства лакокрасочного покрытия такие, как равномерность нанесения, толщина пленки, декоративные свойства, долговечность зависят не только от характеристик лакокрасочных материалов, но и от природы покрываемой поверхности и ее шероховатости.

Ключевые слова: шероховатость поверхности изделия из древесины, декоративные свойства, долговечность поверхности.

УДК 684.59.

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.19

Особенности взаимодействия лакокрасочных материалов с подложкой

Онегин В.И., Сергеевичев А.В.

Краевой угол натекания является одним из основных технических показателей жидких лакокрасочных материалов, характеризующий их адгезию и растекание. Для определения величины краевого угла натекания часто используются методы, основанные на измерении диаметра и высоты капли, учитывая, что капля лакокрасочного материала представляет собой сегмент шара.

Как отмечено в работе [1], с увеличением размера капли, ее форма начинает отклоняться от шарового сегмента, соответственно появляется несоответствие расчетного и фактического значения краевого угла натекания.

Качество изделий из древесины с полимерным покрытием достаточно сильно зависит от предварительных операций подготовки поверхности и полимерных материалов. Технологическая направленность предварительной подготовки заключается в обеспечении высокой адгезионной прочности при высоком качестве защитно-декоративных покрытий.

Подготовка поверхности древесины состоит из следующих этапов: механическая обработка, грунтование, крашение.

Механическая обработка заключается в шлифовании поверхности заготовки с целью уменьшения ее шероховатости, вызванной капиллярно-пористой структурой поверхности древесины и качеством выполнения предыдущих технологических операций [2]. Выравнивание поверхности древесины необходимо, прежде всего, для уменьшения расхода лакокрасочных материалов. Расход материала определяет толщину пленки, которая должна превышать 20% максимальную высоту микронеровностей поверхности.

На основании проведенных экспериментов, можно сделать вывод, что во всех случаях уменьшения шероховатости подложек, качество формируемых покрытий повышается, снижается количество пузырьков воздуха в лаковой пленке из-за уменьшения гистерезиса и анизотропии смачивания, также снижается возможность образования гетерофазной поверхности контакта при смачивании поверхности подложки [3]. Поэтому механические методы подготовки поверхности древесины позволяют повысить технологические свойства подложек, а, соответственно, снизить удельный расход лакокрасочных материалов.

В процессе исследований большое внимание уделялось изучению поверхностной активности древесины разных пород. Отмечается, что она изменяется в широких пределах, особенно у модифицированных грунтовочными составами подложек. Грунтование осуществляется с целью экранизации поверхности древесины для обеспечения экономии лакокрасочных материалов и проявления текстуры древесины. Выбор состава грунтов основывается на необходимости обеспечения хорошей адгезии их к субстрату и совместимости с материалов следующего слоя. Достаточно часто грунтовочный слой способствует получению покрытий с минимумом остаточных напряжений, что приводит к улучшению условий эксплуатации лакокрасочных покрытий.

В условиях промышленности эффективность применения грунтов для данного вида подложки является степенью порозаполнения и качеством шлифования. Однако, этого может быть недостаточно для объективной оценки грунтовочной подготовки, т.к. в ряде случаев происходит снижение поверхностной активности за счет барьерного слоя из полимерных материалов, имеющих меньшее поверхностное натяжение на границе раздела твердое тело-газ. Древесина относится к низкоэнергетическим поверхностям, однако, имеет лучшие характеристики смачивания ее жидкостями за счет капиллярно-пористого строения и микрорельефа. После нанесения грунта поверхность древесины оказывается под его тонким слоем, соответственно, поверхностная активность определяется свойствами поверхности грунта.

В условиях производства снижение поверхностного натяжения лака осуществляется для улучшения розлива за счет снижения вязкости. Увеличение

поверхностной активности необходимо для повышения адгезионной прочности отвержденных покрытий [3], также оно позволяет наносить лакокрасочные материалы, обладающие большим поверхностным натяжением.

Выводы

При нанесении грунтов на разные виды подложек критическое поверхностное натяжение смачивания будет различным.

Шлифование древесины осуществляется с целью снижения ее шероховатости и повышения энергии поверхности.

При подготовке поверхности древесины под отделку необходимо стремиться к увеличению поверхностной активности подложек и уменьшению поверхностного натяжения жидких лакокрасочных материалов.

Библиографический список

1. Онегин В.И., Герасюта С.М., Цой Ю.И., Ляхтинен И.С. К вопросу об отверждении воднодисперсионных лаков // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии, 2000. №166. С. 92-97.
2. Онегин В.И., Барташевич А.А. Физические основы блеска лакированной древесины // Лесная и деревообрабатывающая промышленность. Минск: БГТУ, 2016. №2 (184). С. 225-229.
3. Сергеевичев А.В., Онегин В.И. Физико-химические основы процессов формирования полимерных покрытий на твердой поверхности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 223. СПб.: СПбГЛТУ, 2018. С.213-227.

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	Онегин Владимир Иванович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9893-3612
e-mail	onegin.ltu@mail.ru

Аннотация

В условиях производства снижение поверхностного натяжения лака осуществляется для улучшения розлива за счет снижения вязкости. Увеличение поверхностной активности необходимо для повышения адгезионной прочности отвержденных покрытий, также оно позволяет наносить лакокрасочные материалы, обладающие большим поверхностным натяжением.

Ключевые слова: поверхностное натяжения лака, декоративные свойства, шлифование древесины.

УДК 684.59.

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.19

К вопросу производства древесноугольных сорбентов

Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Угрюмов С.А.

Введение

Одним из способов вовлечения в производство низкосортной лиственной древесины является ее термохимическая переработка, основным продуктом которой является древесный уголь, широко используемый в различных сферах в качестве сорбента.

Опираясь на известные исследования, можно утверждать о пригодности древесины осины для производства качественного древесного угля с последующей его модификацией и получением конечного продукта в виде сорбентов для очистки водных сред от ионов тяжёлых металлов и органических включений [1].

Процесс пиролиза древесины

В процессе пиролиза древесины заметно увеличивается ее пористость, а в древесном угле нарушаются соединения между отдельными элементами сосудов за счет выгорания межклеточного вещества и клеточных стенок (толщина стенок снижается от 4,2 до 1,27 мкм). При этом пористость древесных углей не находится в прямой зависимости от их прочности. Более пористый древесный уголь может быть более прочным, чем менее пористый, если стенки клеток прочны. Прочность же стенок клеток угля возрастает с повышением температуры прокаливания угля. Отношение между порами и плотной массой древесного угля для осинового угля в среднем составляет 0,72[4].

Общая пористость не является постоянной величиной. Она зависит не только от породы древесины и способа получения угля, но и от гранулометрического состава угля. Так, при измельчении угля от размеров куска 2х2х4 см до размеров зёрен 0,3 см общая пористость его уменьшается на

7...10%. Это является важным качеством сорбента, так как она определяет возможность его регенерации, практически неосуществимой при использовании порошкообразных сорбентов.

Для получения сорбентов на базе окислённых углей необходимо ввести жидкий окислитель (например, пироксид) в поровое пространство угля-сырца методом пропитки под внешним давлением.

Использование чисто капиллярного давления не эффективно. Полная сквозная пропитка в этом случае является длительным не технологичным процессом без фиксированных временных границ [3,4]. Однако капиллярная и полная диффузионная пропитка при наличии достаточного экспериментального опыта и накоплении предприятием надёжных статистических данных, может быть использована для сквозной равномерной пропитки [5].

Способы пропитки древесного угля

Наиболее перспективным способом пропитки древесного угля, по нашему мнению, является пропитка в поле центробежных сил. При использовании встречно-центробежного способа значительно сокращается продолжительность пропитки [4,6]. Эффективность данного способа обусловлена тем, что пропитка происходит за счёт градиента давления, возникающего в материале, помещённом в центробежном поле [7].

Интенсификация процессов пропитки за счёт центробежной нагрузки изучены в основном для древесины, а для древесного угля в этой области проведено недостаточно исследований. Кроме этого, отрасль пока не оснащена в достаточной степени оборудованием, создающим поле центробежных сил (центрифугами, барабанами и т.д.). Поэтому необходимы дальнейшие исследования в направлении математического моделирования процессов пропитки древесного угля водорастворимыми веществами.

Другие способы пропитки, например, за счёт возбуждения в жидкости ультразвукового поля или за счёт электрогидравлического эффекта в настоящее время не получили широкого применения из-за их низкой производительности, высокой энергоёмкости и сложной реализации.

Вывод

Таким образом, исследования процесса пропитки древесного угля не нашли своего окончательного завершения и продолжение работы в этом направлении является актуальной задачей.

Библиографический список

1. Бирман А.Р. Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы Международной научно-технической конференции // Новые направления использования древесины осины и её отходов / А.Р. Бирман, Н.А. Белоногова. – Вологда: ВоГТУ, 2009. – 217 с.

2. Юрьев Ю.Л. Древесный уголь. Справочник / Ю.Л. Юрьев. – Екатеринбург: Издательство «Сократ», 2007. – 184 с.
3. Бирман А.Р. Пропитка древесины гидростатическим способом / А.Р. Бирман, В.А. Соколова, А.С. Кривоногова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам заочной научно-практической конференции. – Воронеж: ВГЛУ, 2014. – №5. –ч. 4 (10-4). – 33-38 с.
4. Бирман А.Р. Способ торцовой пропитки длинномерных сортиментов на определённую их длину / А.Р. Бирман, Н.А. Белоногова, А.С. Кривоногова // Современные проблемы переработки древесины: материалы международной научно-практической конференции / Под ред. В.В. Сергеевичева, А.Н. Чубинского. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 77-81 с.
5. Бирман А.Р. Борирование древесины пропиткой с целью повышения её нейтронозащитных свойств / А.Р. Бирман, В.А. Соколова, А.С. Кривоногова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып. 208. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – С. 130-138.
6. Бирман А.Р. Торцовая пропитка длинномерных сортиментов / А.Р. Бирман, В.А. Соколова, А.С. Кривоногова // Научное обозрение. – М.: Издательский дом «Наука образования», 2014. –№ 7. – С. 281-28.
7. Пятакин В.И. Техническая гидродинамика древесины / В.И. Пятакин, Ю.Г. Тишин, С.М. Базаров. – М.: Лесн. пром-сть, 1990. – 304 с.

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	kas.spb.lta@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

Аннотация

Приведен обзор способов термохимической переработки древесины осины с получением древесного угля, используемого в качестве сорбента. Установлено, что для получения качественных сорбентов необходимо ввести жидкий окислитель в поровое пространство угля-сырца методом пропитки под внешним давлением, при этом наиболее перспективным способом пропитки древесного угля является пропитка в поле центробежных сил. Исследования процесса пропитки древесного угля является актуальной научно-технической задачей.

Ключевые слова: древесина, древесный уголь, пиролиз, пористость, пропитка.

УДК 676.16

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.19, 66.29.99

Анализ зависимости производительности процесса шлифования древесины от износостойкости абразивного инструмента

Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.

В реальном процессе при шлифовании используется минимальное давление прижима, обеспечивающее заданную производительность шлифования [1]. По мере снижения производительности, периодически давление прижима повышается, с целью сохранить ее значение на прежнем уровне. При анализе этого процесса примем, согласно критерию износостойкости шлифовальных лент, что каждое следующее повышение давления прижима происходит после снижения производительности шлифования вдвое от начальной. Таким образом, при начальном давлении q_1 шлифовальная лента проработает до следующего этапа повышения давления время T_1 .

$$T_1 = \frac{0,693V_0 l_{\text{шк}}}{c_z c_1 a_0 V L} \quad (1)$$

где V_0 – объем межзернового пространства на единице поверхности шкурки, м³; $l_{\text{шк}}$ – длина шлифовальной ленты, м; c_z – коэффициент, учитывающий выпадение зерен, $c_z = 1$ при обработке мягких пород древесины, $c_z = 1,25$ при обработке твердых пород древесины; L – длина контакта шкурки с древесиной, выраженная в количестве участков длиной $1 \cdot 10^{-2}$ м; V – скорость резания, м/с; a_0 – начальная удельная производительность шлифования на заданном режиме, м³; c_1 – доля застрявшей в межзерновом пространстве стружки от общего объема сошлифованной древесины при давлении q_1 .

За это время производительность шлифования снизится до значения $a_0/2$, а межзерновое пространство уменьшится на величину V_{31} – объем застрявшей стружки.

В дальнейшем давление повышается до такой величины, чтобы производительность достигла своего прежнего значения.

$$a_0 = \frac{a_0}{2} + da \quad (2)$$

где a_0 – приращение производительности, необходимое для достижения ее начального уровня.

Учитывая, что

$$a_0 = kq_1 \quad (3)$$

$$da = \frac{a_0}{2} \quad (4)$$

получим:

$$da = \frac{kq_1}{2}$$

то есть приращение давления прижима:

$$dq = \frac{q_1}{2}$$

а общее давление прижима:

$$q = q_1 + \frac{q_1}{2} = \frac{3}{2}q_1$$

При давлении $q_2 = 1,5q_1$ длительность второго этапа T_2 определится из зависимости:

$$T_2 = \frac{0,693(V_0 - V_{31})l_{шк}}{c_2 c_2 a_0 VL} \quad (5)$$

где c_2 – значение коэффициента c при давлении q_2 .

При этом межзерновое пространство уменьшится на величину объема застрявшей за время второго этапа стружки. В последующем этапы увеличения давления прижима с целью сохранения производительности циклически повторяются до достижения предельных значений. Давление на каждом этапе будет определяться формулой:

$$q_n = 1,5^{n-1}q_1 \quad (6)$$

где n – количество этапов ($n = 1, 2, 3$).

Согласно режимам шлифования, на ленточных станках давление не может быть принято больше 5кПа [2], поэтому количество этапов повышения давления может быть определено из условия:

$$\frac{5}{q_1} = 1,5^{n-1}$$

Прологарифмировав, получим:

$$\ln \frac{5}{q_1} = (n - 1) \ln 1,5$$

откуда:

$$n = \frac{\ln \frac{5}{q_1}}{\ln 1,5} + 1 \quad (7)$$

Обычно минимальное давление при шлифовании на ленточных станках равно 2 кПа, тогда количество этапов нагружения:

$$n = \frac{\ln \frac{5}{2}}{\ln 1,5} + 1 = 3,26$$

Принимаем количество этапов, равное 3. Тогда для первого этапа давление прижима $q_1 = 2$ кПа, для второго $q_2 = 3$ кПа, для третьего $q_3 = 4,5$ кПа.

Время шлифования абразивной лентой складывается из времени работы ее на каждом этапе:

$$T = T_1 + T_2 + T_3 \quad (8)$$

ИЛИ

$$T = \frac{0,693 V_0 l_{\text{шк}}}{c_z c_1 a_0 V L} + \frac{0,693 (V_0 - V_{z1}) l_{\text{шк}}}{c_z c_2 a_0 V L} + \frac{0,693 (V_0 - V_{z1} - V_{z2}) l_{\text{шк}}}{c_z c_3 a_0 V L} \quad (9)$$

$$V_3 = \frac{c a_0 T}{1,382} \quad (10)$$

Подставив V_3 в формулу (9), получим:

$$T = \frac{0,693 V_0 l_{\text{шк}}}{c_z a_0 V L} \left[\frac{V_0}{c_1} + \frac{V_0 - \frac{c_1 a_0 T_1}{1,382}}{c_2} + \frac{V_0 - \frac{a_0}{1,382} (c_1 T_1 + c_2 T_2)}{c_3} \right] \quad (11)$$

Определив длительность первого этапа T_1 можно найти объем застрявшей на этом этапе стружки, что позволит рассчитать T_2 и T_3 . Характер изменения производительности при шлифовании представлен на рис. 1.

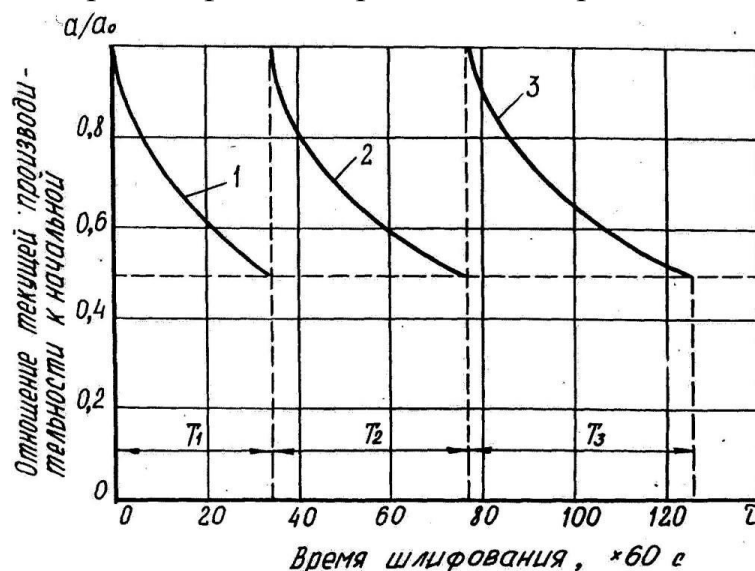


Рис. 1. Изменение производительности шлифования при ступенчатом повышении давления: 1 – $q = 2$ кПа; 2 – $q = 3$ кПа; 3 – $q = 4$ кПа.

Анализ зависимости (11) показывает, что длительность каждого последующего этапа будет больше, чем предыдущего, в связи с уменьшением

доли застрявшей древесины (коэффициента c), в то время как производительность процесса шлифования остается на прежнем уровне [3]. Последовательное повышение давления прижима позволяет более полно использовать режущую способность шлифовальной ленты. Общее время ее работы определяется суммарным временем всех этапов.

Выводы

Износостойкость шлифовальных лент при обработке древесины и древесных материалов зависит от объема межзернового пространства, конструкции шлифовальной шкурки и режимов шлифования.

Ступенчатое увеличение давления прижима по мере затупления шлифовальных лент позволяет полнее использовать их режущие свойства. Продолжительность их работы возрастает в зависимости от числа этапов повышения давления в заданных пределах.

Для увеличения износостойкости шлифовальных лент необходимо увеличивать объем межзернового пространства и уменьшать объем застревающей в этом пространстве стружки.

Библиографический список

1. Глебов И.Т. Дереворежущий инструмент. Екатеринбург: УГЛТУ, 2001. 197с.
2. Санев В.И., Каменев Б.Б., Сергеевичев А.В., Резание древесины и древесных материалов. СПб.: «Лань», 2018. 456с.
3. Сергеевичев А.В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием. Монография. СПб.:СПбГЛТУ, 2015. 136с.

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	отсутствует
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

Ступенчатое увеличение давления прижима по мере затупления шлифовальных лент позволяет полнее использовать их режущие свойства. Продолжительность их работы возрастает в зависимости от числа этапов повышения давления в заданных пределах.

Ключевые слова: шлифование древесины, ступенчатое увеличение давления прижима.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Анализ процесса стружкообразования при шлифовании абразивными кругами из сфорокорунда

Сергеевичев А.В., Михайлова А.Е.

В большинстве случаев при конструировании кинематической модели абразивного инструмента используется допущение: абразивные зерна представляются в виде точек. Вследствие этого форма и размеры зерен в кинематической модели не учитываются. Это объясняется тем, что объектом исследования в кинематике являются не абразивные зерна, а критерии, по которым определяется их работа: толщина, длина стружки, количество одновременно работающих зерен, длина дуги контакта шлифующего зерна с деталью и т.д.

В кинематической модели абразивного круга из сфорокорунда, исходя из этих положений, зерно следует моделировать окружностью. Точками будут представляться режущие элементы зерна – стенки сферы, расположенные по окружности, т.е. не учитывается толщина стенки зерна сфорокорунда. Окружность зерна при работе и правке претерпевает изменения, расстояние между режущими элементами изменяется и представляет собой длину хорды данной окружности. Это определяет необходимость рассматривать все кинематические критерии применительно к обеим стенкам одного зерна и их суммированию, если определяются условия шлифования, относящиеся ко всему зерну.

Рассмотрим взаимодействие двух соседних абразивных зерен сфорокорунда с обнаженными стенками. Режущие элементы зерен разделены по окружности между зернами расстоянием δ , между стенками второго зерна - расстоянием l ; расстояние по радиусу между зернами – H_{12} , между задними стенками зерен – H_{13} . Уравнение траектории движения абразивного зерна при плоском шлифовании периферией круга представляет собой циклоидальную

кривую. Для задней стенки первого абразивного зерна, лежащего на расстоянии от мгновенного центра скоростей, уравнение траектории имеет вид [1]:

$$\begin{cases} x_1 = \frac{V_s}{\omega} \cdot \varphi_1 + R \sin \varphi_1 \\ y_1 = \frac{V_s}{\omega} + R \cos \varphi_1 \end{cases} \quad (1)$$

где V_s – скорость подачи, м/мин; ω – угловая скорость круга с^{-1} ; φ_1 – переменный угол контакта задней стенки правого абразивного зерна, °.

Переменный угол контакта режущего элемента абразивного зерна изменяется в диапазоне $0 \leq \varphi_1 \leq \varphi_{max}$, где $\varphi_{max} = \sqrt{2h/R}$; h – глубина шлифования, мм.

Угловое расстояние между абразивными зёрнами $\theta_{12} = \frac{\delta}{R}$ и уравнение траектории для передней стенки второго зерна будет иметь вид:

$$\begin{cases} x_2 = \frac{V_s}{\omega} \left(\varphi_2 - \frac{\delta}{R} \right) + (R \pm H_{12}) \sin \varphi_2 \\ y_2 = \frac{V_s}{\omega} + (R \pm H_{12}) \cos \varphi_2 \end{cases} \quad (2)$$

Угловое расстояние между задними стенками зёрен $\theta_{13} = \frac{\delta+l}{R}$ и аналогичное уравнение для задней стенки второго зерна запишется следующим образом:

$$\begin{cases} x_3 = \frac{V_s}{\omega} \left(\varphi_3 - \frac{\delta+l}{R} \right) + (R \pm H_{13}) \sin \varphi_3 \\ y_3 = \frac{V_s}{\omega} + (R \pm H_{13}) \cos \varphi_3 \end{cases} \quad (3)$$

Каждая из траекторий при сложении двух движений: вращательного с угловой осью ω и поступательного со скоростью V_s за один оборот в теле древесины может пересекаться с соседней траекторией не более одного раза. Область между двумя траекториями представляет собой кинематически возможную стружку. Толщина срезаемого слоя одним режущим элементом оказывает очень сильное влияние на весь процесс шлифования, с изменением значения толщины стружки происходит изменение режима работы круга и условий шлифования. От толщины срезаемого слоя обрабатываемого материала зависят силы резания на шлифующем элементе круга, износ зёрен, связки, а, следовательно, и стойкость круга, шероховатость обработанной поверхности, мгновенная температура в зоне резания и др.

Уравнение максимальной толщины стружки, снимаемой одним зерном [2], для передней стенки зерна сферокорунда имеет вид:

$$a_1 = 2 \cdot \frac{v_s}{v} \cdot \sqrt{\frac{h}{D}} \cdot \delta \quad (4)$$

Максимальная толщина стружки, срезаемая второй стенкой зерна сферокорунда,

$$a_1 = 2 \cdot \frac{v_s}{v} \cdot \sqrt{\frac{h}{D}} \cdot l \quad (5)$$

где V – скорость резания, м/с; D – диаметр круга, мм.

Максимальная толщина слоя обрабатываемого материала, снимаемая одним зерном сферокорунда, $\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$.

У сплошных абразивных материалов среза по траектории задней стенки зерна не происходит, толщины срезаемой стружки α_2 не существует, значение l для них характеризовало бы площадку износа зерна. Сферическая форма зерна снижает площадь соприкосновения зерна с обрабатываемым материалом, что ведет к снижению сил трения и температуры в зоне резания.

Число шлифующих зерен, действующих в пределах дуги контакта, будет определяться зависимостью

$$i = \frac{1}{\delta + l} \left(1 + \frac{v_s}{v} \right) \cdot \sqrt{D \cdot h} \quad (6)$$

Толщина стружки, срезаемая одним зерном, и число одновременно работающих зерен определяют любой показатель операции шлифования. Они связаны между собой обратной связью, увеличение одной из величин приводит к уменьшению другой.

Дискретный параметр описания поверхности абразивного инструмента – число шлифующих зерен, действующих в пределах дуги контакта, для кругов из сферокорунда имеет меньшее численное значение, чем для абразивных инструментов из обычных абразивных материалов, так как значение l в формуле (6) учитывает и размер зерна. Толщина стружки, срезаемая одним зерном, для кругов из сферокорунда больше чем для кругов из сплошного абразивного материала, на величину α_2 . А с увеличением значения α должно происходить увеличение шероховатости обработанной поверхности.

Но у сферокорунда одновременно с увеличением толщины стружки происходит и увеличение количества режущих элементов, по сравнению с обычными абразивными материалами. Увеличение количества шлифующих зерен в пределах дуги контакта круга с древесиной, обеспечивающих заданную глубину резания, оказывает положительное влияние на шероховатость обработанной поверхности.

Уравнения (4) и (5) определяют только кинематически возможные толщины стружки, все, какие может реализовать данный рельеф поверхности круга. Совместное решение этих уравнений относительно α позволит получить

значения толщины стружки, которые при заданных кинематико-геометрических условиях шлифования обеспечит выбранная характеристика инструмента.

Толщину стружки будем определять применительно ко всему зерну. Из формул (4), (5) выразим значение $(\delta + l)$ и тогда взаимосвязь кинематической и инструментальной моделей будет представлять собой систему уравнений:

$$\begin{cases} (\delta + l)_u = 1,18\sqrt{dy} + \frac{(1-\beta_c-\beta_s)\cdot 0,5\cdot d^{2,5}}{\beta_s(19,5(\beta_s+\beta_c)-2,5)\cdot y^{1,5}} + 2\sqrt{(y-b)(d-b-y)} \\ (\delta + l)_K = 0,5\frac{V}{V_s} \cdot \sqrt{\frac{D}{h}} \cdot (\alpha \pm H) \\ y = y' + (\alpha \pm H) \end{cases} \quad (7)$$

Для решения данной системы уравнений используем графический метод, так как точного решения аналитическим методом нет. Примем следующее допущение: разницы высот между зернами отсутствуют, т.е. $H = 0$. Применение данного допущения объясняется тем, что разницы высот представляет собой случайную величину, ее трудно прогнозировать, она определяется только экспериментальным путем. Наиболее часто встречающиеся на практике значения $H = 10^{-2} \dots 10^{-5}$ мм [3]. Определение толщины срезаемой стружки и динамического расстояния между режущими элементами зерен абразивных кругов из сфорокорунда произведем для частного случая, когда зерна на поверхности круга срезаны наполовину, т.е. $y' = \frac{d}{2}$.

Графический метод решения системы уравнений (7) изображен на рис. 1. Суммарное расстояние между режущими элементами абразивных зерен $(\delta + l)$ на рассматриваемом интервале изменения значения y практически остается неизменным. Следовательно, динамическое расстояние между режущими элементами абразивного круга, согласно предлагаемой модели, незначительно зависит от режимов шлифования. А толщина стружки, срезаемая определенным рельефом круга, почти полностью определяется кинематическими соотношениями. Они выражаются кинематическим критерием $K = 2\frac{V_s}{V} \sqrt{\frac{h}{D}}$.

Для графического решения использовались три значения К-критерия: $K_1 = 1,623 \cdot 10^{-4}$ ($V = 15$ м/с, $V_s = 0,032$ м/с, $h = 0,2$ мм, $D = 150$ мм), $K_2 = 4,820 \cdot 10^{-4}$ ($V = 25$ м/с, $V_s = 0,116$ м/с, $h = 0,4$ мм, $D = 150$ мм), $K_3 = 7,228 \cdot 10^{-4}$ ($V = 35$ м/с, $V_s = 0,2$ м/с, $h = 0,6$ мм, $D = 150$ мм). В зависимости от величины К-критерия в используемом интервале толщина стружки α меняется от 0,60 до 2,70 мкм для кругов z200; для z50 $\alpha = 0,15 \dots 0,65$ мкм.

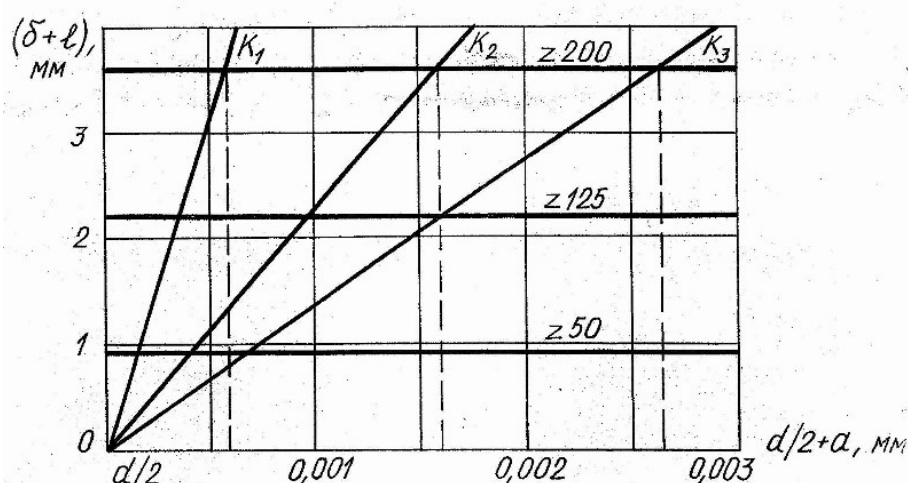


Рис. 1. Графический метод определения максимальной толщины стружки, срезаемой одним зерном

Выводы

Влияние зернистости абразивных кругов из сфериокорунда на толщину стружки, срезаемую одним шлифующим зерном, очень велико. Влияние других инструментальных факторов, параметров его внутреннего объемного строения: относительно содержания зерна β_z и связки β_c — менее значительное.

Библиографический список

1. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. Л.: Из-во ЛГУ, 1991. 144с.
2. Сергеевичев А.В. Анализ разрушения абразивных зерен при шлифовании древесины и древесных материалов // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». №5. Архангельск: АГТУ, 2015, С. 7-15.
3. Сергеевичев А.В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием. Монография. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 136с.

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	Михайлова Анна Евгеньевна
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	9363-4333
e-mail	mikhailovae@ya.ru

Аннотация

В кинематической модели абразивного круга из сферокорунда, исходя из этих положений, зерно следует моделировать окружностью. Точками будут представляться режущие элементы зерна – стенки сферы, расположенные по окружности, т.е. не учитывается толщина стенки зерна сферокорунда. В статье показано, что влияние зернистости абразивных кругов из сферокорунда на толщину стружки, срезаемую одним шлифующим зерном, очень велико.

Ключевые слова: шлифование древесины, влияние зернистости абразивных кругов из сферокорунда на толщину стружки.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Анализ тенденции к разрушению абразивных зерен различной геометрической формы

Михайлова А.Е., Сергеевичев А.В.

Суммарная функция распределения $F(r)$ создает основу для сравнения тенденции к разрушению зерен различной геометрии. Каждое зерно с совокупностью различных его положений можно рассматривать как сферу с диаметром, равным диаметру описанной сферы. Так как объем описанной сферы больше объема зерна, ясно, что не весь объем будет занят абразивом; ясно также, что вероятность занятия абразивом изменяется с удалением от центра, достигая единицы в центре и нуля на периферии. Функция $F(r)$ показывает изменение этой вероятности. Таким образом, можно в определенном смысле считать, что сфера обладает различной «прочностью». «Прочность» сферы должна меняться в обратном расстоянии от центра отношения, и на расстоянии r от центра она будет равна функции $F(r)$, умноженную на максимальную прочность абразивного материала [1].

Функция $F(r)$ дает также представление об износных характеристиках зерен различной формы. Величина изношенного поперечного сечения может быть определена как поверхность основания сферического сегмента, показанного на рис. 1. Каждая частичка рассматривается как сфера радиуса r_m , где r_m – максимальный радиус-вектор (для куба со стороной a , например, $r_m = \sqrt{3}a/2$). Если провести через сферу на расстоянии R от центра плоскость a , то можно выбрать элементарный участок поверхности.

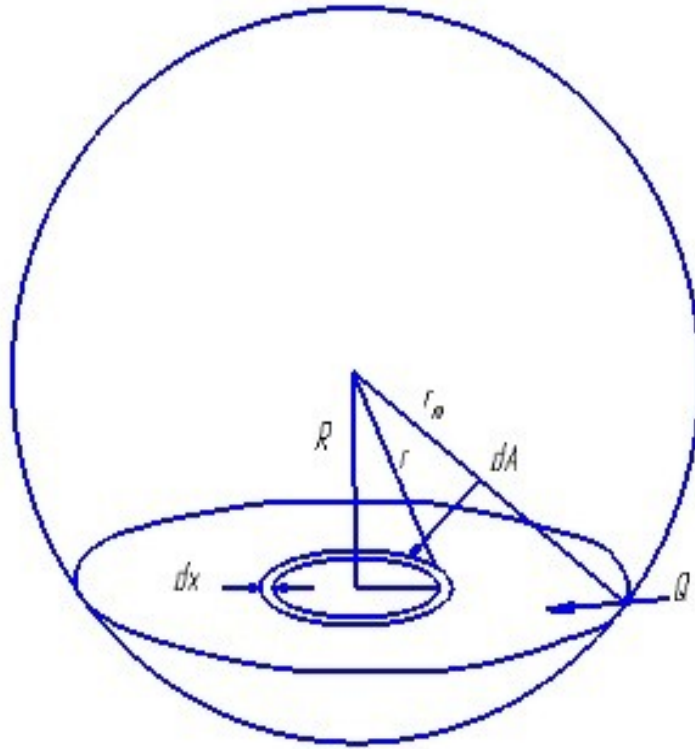


Рис. 1. Изношенное сечение описанной сферы

$$dA = 2\pi x dx. \quad (1)$$

Но $x = \sqrt{r^2 - R^2}$ и $dx = \frac{r dr}{\sqrt{r^2 - R^2}}$. (2)

Отсюда $dA = 2\pi\sqrt{r^2 - R^2} \left(\frac{r dr}{\sqrt{r^2 - R^2}} \right) = 2\pi r dr$. (3)

Вероятность того, что длина произвольного вектора находится в пределах между r и $r+dr$, составляет $f(r)dr$. Тогда

$$A(R) = 2\pi \int_R^{r_m} r f(r) dr. \quad (4)$$

Интерес представляет кривая интеграла $rf(r)$, выраженная в функции нижнего предела R в интервале $r < R < r_m$. Так как поверхность износа по задней грани является важным фактором, определяющим эффективность режущего инструмента, функция $A(R)$ имеет большое значение при сравнении форм абразивных зерен.

Заметим, что R – это расстояние от плоскости износа до центра частицы. Если известно распределение R , можно вычислить действительные сечения

износа. Как будет показано ниже, распределение R связано с понятием твердости инструмента.

Если зерна расположены в связке беспорядочно, то R будет равномерно распределяться в интервале $-r_m < R < r_m$, где r_m – радиус описанной сферы [2]. Предположим, однако, что, когда R за счет износа уменьшится до некоторой критической величины R_c , зерна будут вырываться из связки. Тогда в первом приближении можно предположить, что R равномерно распределяется в интервале $-r_m < R < R_c$. Более общим будет условие, что R_c рассеяно, а не имеет постоянного значения, и распределение R не будет равномерным. При приближении R к критическому значению R_c вероятность вырывания зерен приближается к максимуму. Во всяком случае, если известно $A(R)$, ожидаемое изношенное сечение частицы будет определяться выражением

$$A = \int_{-r_m}^{r_m} p(R) A(R) dR, \quad (5)$$

где $p(R)$ – распределение R , а $A(R)$ определяется по указанной выше формуле.

Роль изношенного сечения аналогична роли площадки износа по задней поверхности в инструменте с заданной геометрией. Как теоретически, так и экспериментально доказано, что для заданного переднего угла, угла трения и угла сдвига, глубина резания при постоянном усилии подачи является линейной функцией площадки износа на задней поверхности [3]. Таким образом, функция $A(R)$ отражает соотношение объема древесины и усилий шлифования.

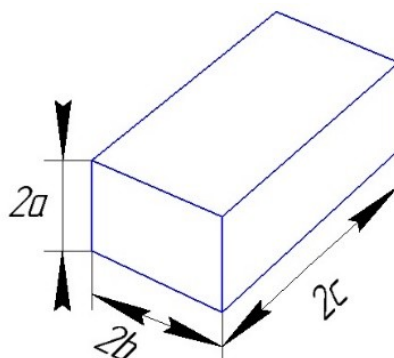


Рис. 2. Соотношение длин осей призмы $l=c/a$; $n=c/b$; $m=b/a$

Рассмотрим рис. 2. По определению $b=ta$ и $c=nb=mna$. Если принять $2a=1$, то $2b=m$ и $2c=mn$, а проекция поверхности частицы будет определяться выражением

$$A_p = 4bc = m^2n, \quad (6)$$

где проекция взята по самой короткой стороне частицы.

Подсчитаем теперь диаметр окружности, площадь которой равна площади проекции абразивной частицы. Тогда

$$\pi r^2 = m^2 n, \quad (7)$$

$$r^2 = \frac{m^2 n}{\pi}, \quad (8)$$

$$r = m \sqrt{\frac{n}{\pi}}, \quad (9)$$

или

$$D = 2r = 2m \sqrt{\frac{n}{\pi}}, \quad (10)$$

где D – искомый диаметр, мм.

Рааль [4] предложил ввести коэффициент формы в следующем виде

$$\text{Объемный коэффициент формы} = \frac{D^3}{V}, \quad (11)$$

и применять этот коэффициент как основу для классификации частиц по форме. Объем V частицы может быть определен по Раалю путем взвешивания определенного числа зерен и деления полученной массы на $N\rho$, где N – число зерен, ρ – плотность.

Однако объемный коэффициент формы Рааля не однозначен и в действительности множество частичек с различным соотношением длины и ширины может быть описано одним коэффициентом формы.

Таким образом,

$$D^3 = (2m\sqrt{n/\pi})^3 = \frac{8m^3 n^{3/2}}{\pi^{3/2}} \quad (12)$$

и объем V можно записать в виде

$$V = (m)(mn)(1) = m^2 n. \quad (13)$$

Следовательно,

$$\text{Коэффициент формы} = \frac{8m^3 n^{3/2}}{\pi^{3/2} m^2 n} = \frac{8}{\pi^{3/2}} m\sqrt{n} = 1,44m\sqrt{n}. \quad (14)$$

При постоянном значении k_1 уравнение

$$1,44m\sqrt{n} = k_1. \quad (15)$$

определяет контуры всех частиц, имеющих фиксированный коэффициент формы. Прологарифмировав это уравнение, получим

$$\log m + \frac{1}{2} \log n = \text{const}. \quad (16)$$

Таким образом, в логарифмической сетке контуры зерен будут представляться прямыми линиями.

Если $m=n=1$ (куб), коэффициент формы равен 1,44. Для $m=n=2$ коэффициент формы равен 4,06, а для $m=8$ и $n=1$ коэффициент формы равен

11,50. Как видно из приведенного выше уравнения, эти формы отнюдь не единственные, которые описываются данными коэффициентами.

Выводы

Неоднозначность, присущая приближению Рааля, может быть устранена за счет применения двух измерений вместо одного; при этом можно получить два уравнения, разрешимые относительно двух неизвестных m и n .

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В., Соколова В.А., Кушнерев В.О. Формирование поверхности твердых тел: граничная область материал-среда // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 208. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С.138-152с.
2. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. М.: Наука, 1968. 464с.
3. Kobayashi S. and E.G. Thomsen E.G. The Role of friction in Metal Cutting. Journal of Engineering for Industry, Trans. ASME: vol.82, 1960. 332 p.
4. Raal F.A. A Photo- Electric Method of Determining the Shape Factor of a Diamond Grit. Report No. R 215/58 Diamond Research Laboratory, Nov, 1968.

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 Михайлова Анна Евгеньевна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 9363-4333
e-mail mikhailovaae@ya.ru

Аннотация

Суммарная функция распределения создает основу для сравнения тенденции к разрушению зерен различной геометрии. Каждое зерно с совокупностью различных его положений можно рассматривать как сферу с диаметром, равным диаметру описанной сферы. Так как объем описанной сферы больше объема зерна, ясно, что не весь объем будет занят абразивом;

ясно также, что вероятность занятия абразивом изменяется с удалением от центра, достигая единицы в центре и нуля на периферии.

Ключевые слова: шлифование древесины, геометрические параметры абразивных зерен.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Исследование зависимости износостойкости шлифовальных лент от основных показателей процесса шлифования древесины

Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.

В процессе работы шлифовальных лент происходит их затупление, приводящее к потере ими режущей способности вследствие осыпания зерен, засаливания рабочей поверхности шкурки.

По современным представлениям, основной причиной снижения работоспособности и износостойкости шлифовальных шкурки при обработке древесины является засаливание, которое происходит вследствие защемления сошлифованных частиц древесины в межзерновом пространстве, прилипания частиц шлифовальной пыли к поверхности шкурки, что обусловлено липкостью смазки и выделением смолистых веществ древесины при нагреве, накоплением на шкурке электростатического заряда, недостаточным объемом свободного межзернового пространства [1].

Для выяснения связи между износостойкостью шлифовальной ленты и указанными выше факторами рассмотрим процесс размещения сошлифованного объема стружки в межзерновом пространстве.

При перемещении единицы площади шкурки относительно единицы площади древесины за один проход будет сошлифован объем материала, равный a рис. 1. Этот объем древесины размещается в межзерновом пространстве в виде воздушнопылевого облака:

$$\rho = \frac{a}{V_c} \quad (1)$$

где V_c – объем свободного межзернового пространства на единице площади шкурки, мм^3 .

Объем застрявшей части шлифовальной пыли:

$$dV_3 = ca \quad (2)$$

где V_3 – объем застрявшей части шлифовальной пыли, мм^3 ; c – доля застрявшей части стружки от общего объема сошлифованной древесины.

С учетом (2), объем свободного межзернового пространства уменьшится и примет значение

$$V'_c = V_c - dV_3 \quad (3)$$

Следовательно, количество срезанной стружки a не сможет разместиться в объеме V'_c с плотностью ρ . Это приведет к вытеснению зерен из древесины и, следовательно, к уменьшению количества срезаемой стружки от a до a' так, чтобы сохранить плотность воздушнопылевого облака постоянной, т.е.

$$\rho = \frac{a'}{V'_c} = \frac{a}{V_c} = \text{const} \quad (4)$$

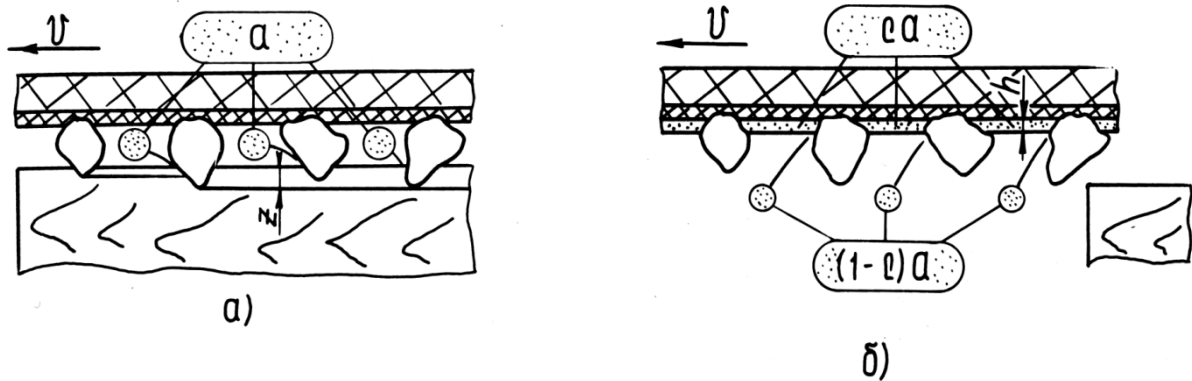


Рис. 1. Изменение объема межзернового пространства шкурки

Изменение производительности шлифования во времени соответствует зависимости [2, 3]

$$a = a_0 \cdot e^{-\lambda\tau} \quad (5)$$

где a , a_0 – текущее и начальное значение удельной производительности шлифования, т.е. количество материала, сошлифованное $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ шкурки с $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ площади древесины за один проход; τ – время шлифования, с; λ – коэффициент.

С учетом этого объем застрявшей стружки в межзерновом пространстве

$$dV_3 = ca_0 \cdot e^{-\lambda\tau} \quad (6)$$

Общее количество застрявшей древесины в межзерновом пространстве за время τ

$$V_3 = \int_0^\tau ca_0 \cdot e^{-\lambda\tau} d\tau = \frac{ca_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda\tau}) \quad (7)$$

Согласно принятому критерию износостойкости шлифовальной шкурки лента считается изношенной при снижении ее производительности вдвое от начальной, т.е. при

$$\frac{a_0}{a} = 2 \quad (8)$$

Из формулы (5) видно, что

$$\frac{a_0}{a} = e^{\lambda\tau}$$

Прологарифмировав данное выражение, получим

$$\ln \frac{a_0}{a} = \lambda \tau \quad (9)$$

Подставив значение отношения производительностей, соответствующее моменту времени T (моменту износа шкурки), получим

$$\lambda \tau = \ln 2 \quad (10)$$

В данных условиях общее количество застрявшей в межзерновом пространстве древесины за время T :

$$\lambda \tau = \ln 2 \quad (10)$$

$$V_3 = c a_0 \frac{T}{\ln 2} (1 - e^{-\ln 2})$$

или

$$V_3 = \frac{c a_0 T}{2 \ln 2} \quad (11)$$

С течением времени глубина внедрения зерен в древесину уменьшается из-за засаливания от z_0 до z . Следовательно, уменьшается объем, учитывающий изменение объема свободного межзернового пространства при внедрении зерен в древесину

$$V_z = z \cdot S_1 \quad (12)$$

где S_1 – площадь единицы поверхности шкурки (в данном случае $= 1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$).

Согласно данным, приведенным в работе [4], удельная производительность прямо пропорциональна прилагаемому усилию прижима, т.е.

$$a = k \cdot Q \quad (13)$$

Где k – коэффициент пропорциональности; Q – сила прижима, Н.

Количество древесины, срезанной за один проход с $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ обрабатываемой поверхности можно представить как слой площадью S_1 и высотой H_c , которая прямо пропорциональна давлению прижима и с некоторым допущением глубине внедрения зерен в древесину z [3].

С учетом этого, согласно формуле (5), следует

$$z = z_0 \cdot e^{-\lambda \tau} \quad (14)$$

где z, z_0 – текущее и начальное значение глубины внедрения зерна, мм.

Отсюда

$$V_z = V_{z0} \cdot e^{-\lambda \tau} \quad (15)$$

Объем свободного межзернового пространства можно представить в виде

$$V_c = V_0 - V_3 - V_z \quad (16)$$

где V_c – объем свободного межзернового пространства при шлифовании, мм^3 ; V_0 – объем межзернового пространства шкурки, мм^3 ; V_z – объем древесины, застрявшей в межзерновом пространстве к моменту времени τ , мм^3 ; V_z – объем, на который свободное межзерновое пространство уменьшается при внедрении зерен в древесину, мм^3 .

Согласно выражениям (1) и (4) имеем

$$\rho = \frac{a}{V_c} = \frac{a_0}{V_{c0}} \quad (17)$$

где V_{c0} – начальный объем свободного межзернового пространства, мм^3 .

$$V_{c0} = V_0 - V_{z0} \quad (18)$$

Учитывая (5) и (18), получим

$$\frac{a_0 \cdot e^{-\lambda\tau}}{V_c} = \rho$$

или

$$V_c = \frac{a_0}{\rho} e^{-\lambda\tau}$$

То есть имеем

$$V_c = V_{c0} \cdot e^{-\lambda\tau} \quad (19)$$

Подставив (7), (16), (19) в (18), получим

$$(V_0 - V_{z0}) \cdot e^{-\lambda\tau} = V_0 - \frac{ca_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda\tau}) - V_{z0} \cdot e^{-\lambda\tau}$$

В результате преобразований данное выражение запишем в виде

$$V_0 = \frac{ca_0}{\lambda} \quad (20)$$

К моменту износа, согласно (10)

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

Отсюда $T = \frac{V_0 \ln 2}{ca_0}$ или $T = \frac{0,693V_0}{ca_0} \quad (21)$

Выводы

Данная формула устанавливает зависимость между износостойкостью шлифовальной ленты и основными показателями процесса шлифования: режимами шлифования, характеристикой которых является удельная производительность шлифования a_0 ; конструкцией шкурки, характеризуемой геометрическим объемом свободного межзернового пространства V_0 , и коэффициентом c .

Библиографический список

1. Рыбин Б.М. Санаев В.Г., Кириллов Д.В. К вопросу выбора параметров шероховатости для оценки неровности древесины // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. М.: МГУЛ, 2014. №4. С.131-137.

2. Сергеевичев А.В. Основные характеристики процесса шлифования древесины и древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 206. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С.124-138.
3. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М.: Машиностроение, 1975. 176с.
4. Попов Ю.П. Исследование работоспособности шлифовальной шкурки. Автореферат дис. на соиск. уч. степ. канд. тех. наук. – М., 1964. 20с

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	отсутствует
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

Выведенная формула устанавливает зависимость между износостойкостью шлифовальной ленты и основными показателями процесса шлифования: режимами шлифования, характеристикой которых является удельная производительность шлифования; конструкцией шкурки, характеризуемой геометрическим объемом свободного межзернового пространства.

Ключевые слова: шлифование древесины, зависимость между износостойкостью шлифовальной ленты и основными показателями процесса шлифования.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

К вопросу измерения некоторых параметров абразивных частиц

Сергеевичев А.В.

В отличие от большинства режущих инструментов геометрия абразивных зерен меняется в широких пределах. Поэтому такие важные параметры, как задний и передний угол зерна, могут быть определены только статически [1]. Кроме того, сложность геометрии режущих частиц исключает применение чисто детерминистического подхода к конструированию абразивного инструмента.

Понятие статистического многогранника развилось на основе попыток связать режущую способность абразивных частиц с их геометрической формой и расположением относительно обрабатываемой детали.

В работе [2] Рааль предложил применить для измерения формы фотоэлектрический метод. При этом наблюдаются частицы с упорядоченной ориентацией. В частности, можно наблюдать частицы, находящиеся в наиболее устойчивом положении; тогда полученная проекция их поверхности будет связана с данным расположением. Предположим, что в дополнение к этой проекции поверхности измеряются проекцией частиц, расположенных беспорядочно. Такие измерения проводились много лет в турбодиметре Вагнера [3], в котором для определения удельной площади поверхности взвешенных в суспензии беспорядочно расположенных абразивных частиц, измерялись потери проходящего луча света. Согласно Коши, площадь проекции поверхности равна $\frac{1}{4}$ действительной площади поверхности при условии, что частицы не имеют входящих углов.

Площадь поверхности призмы может быть легко рассчитана. Для призмы с размерами 1, m и mn (рис. 1) площадь поверхности будет

$$2m^2n + 2mn + 2m = 2m(mn + n + 1), \quad (1)$$

а средняя площадь проекции поверхности беспорядочно расположенных частиц будет

$$\frac{1}{4} \cdot 2m(mn + n + 1) = \frac{1}{2} \cdot m(mn + n + 1). \quad (2)$$

Радиус круга, имеющего ту же площадь, получаем из выражения

$$\pi r^2 = \frac{1}{2} \cdot m(mn + n + 1), \quad (3)$$

при

$$r = \sqrt{\frac{1}{2\pi} m(mn + n + 1)}, \quad (4)$$

или

$$D = \sqrt{\frac{2m}{\pi}} (mn + n + 1). \quad (5)$$

тогда

$$D^3 = \left[\frac{2}{\pi} m(mn + n + 1) \right]^{3/2}, \quad (6)$$

$$\text{Коэфф. формы} = \frac{D^3}{V} = \frac{\left[\frac{2}{\pi} m(mn + n + 1) \right]^{3/2}}{m^2 n} = \frac{\left[\frac{2}{\pi} (mn + n + 1) \right]^{3/2}}{n\sqrt{m}} = \frac{0,512(mn + n + 1)^{3/2}}{n\sqrt{m}} \quad (7)$$

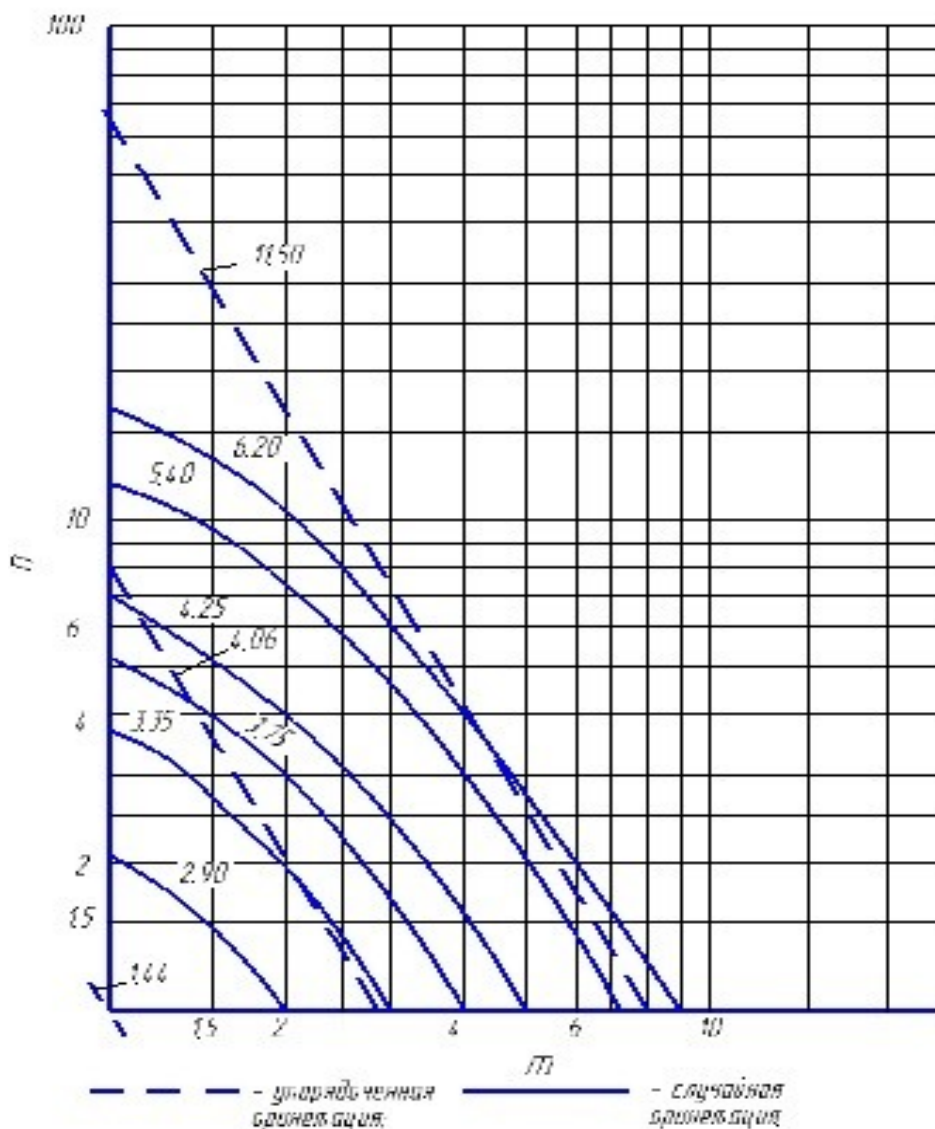


Рис. 1. Соотношение n и m

При постоянстве значения k_2 уравнение

$$\frac{0,512(mn + n + 1)^{3/2}}{n\sqrt{m}} = k_2 \quad (8)$$

позволяет определить контур всех частиц, имеющих фиксированный коэффициент формы. Таким образом, если известны коэффициенты формы k_1 и k_2 для частиц, расположенных соответственно упорядоченно и случайно,

уравнения могут быть решены относительно величин m и n . Решения будут представляться пересечением двух семейств кривых, как это показано на рис. 1.

Измерение проекций поверхности абразивных частиц в двух положениях может быть осуществлено сочетанием методов Рааля и Вагнера. Требуемое количество частиц на единицу веса абразивного материала может быть получено автоматически при помощи фотоэлектрического приспособления, как это предлагается в работе [4].

Описанный метод измерения некоторых параметров абразивных частиц служит лишь одним примером общего подхода, при котором основные параметры формы могут быть определены из двух серий измерений, проводимых различными методами. Применение метода просеивания, метода отмучивания, или просеивания через сита с двумя контурами отверстий, может также представить достаточные данные для определения формы абразивных частиц.

Идея статистического многогранника позволяет сочетать в едином понятии такие параметры, как размер, форма и ориентация частиц, что весьма полезно при определении режущей способности абразивного зерна. Это понятие позволяет оценивать очень важные характеристики излома и износа абразивного зерна. Однако суммарная функция распределения не является однозначной и не может характеризовать тонкую структуру поверхности частиц.

Выводы

Для определения соотношения сторон прямоугольной призмы могут быть использованы свойства проекций статистического многогранника. Частицы такой формы могут быть полностью охарактеризованы двумя параметрами: отношением длины к ширине и отношением ширины к высоте. Поскольку обычно форма зерна должна быть охарактеризована больше чем двумя параметрами, возможность применения предложенного метода для более сложных форм должна быть дополнительно изучена.

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В. Основные характеристики процесса шлифования древесины и древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 206. СПб.: СПбГЛТУ, 2014. С.124-138.
2. Raal F.A. A Photo- Electric Method of Determining the Shape Factor of a Diamond Grit. Report No. R 215/58 Diamond Research Laboratory, Nov, 1968.
3. Wagner L.A. A Rapid Method for the Determination of the Specific Surface of Portland Cement. Proceedings. ASTM: vol. 33, 1967. – 570 p.
4. Thoing W. Untersuchungen uber das Abrichten von schleifscheiben mit Diamantwerkzeugen. Dissertation by T.H. Braunschweig, 1966.

Сведения об авторе

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

Аннотация

Описанный метод измерения некоторых параметров абразивных частиц служит лишь одним примером общего подхода, при котором основные параметры формы могут быть определены из двух серий измерений, проводимых различными методами. Применение метода просеивания, метода отмучивания, или просеивания через сита с двумя контурами отверстий, может также представить достаточные данные для определения формы абразивных частиц.

Ключевые слова: шлифование древесины, геометрические параметры абразивных зерен.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

К вопросу исследования геометрических параметров абразивных зерен

Сергеевичев А.В.

В отличие от большинства режущих инструментов геометрия абразивных зерен меняется в широких пределах. Поэтому такие важные параметры, как задний и передний угол зерна, могут быть определены только статически [1]. Кроме того, сложность геометрии режущих частиц исключает применение чисто детерминистического подхода к конструированию абразивного инструмента.

В данной статье понятие статистического многогранника ограничивается применением только для зерен относительно простой геометрии при относительно простой совокупности положений. Рассматриваются только прямоугольные призмы, но указываются методы, позволяют применить это понятие к более сложным формам. Ориентация зерен, определяемая направлением вектора r , предполагается распределенной случайно и

равномерно; вероятность того, что r заключено в каком-либо телесном угле, пропорциональна величине этого угла.

Метод вывода плотности вероятности [функции распределения $f(r)$] и суммарной функции распределения $F(r)$ может быть рассмотрен на примере куба. Благодаря симметрии мы можем рассматривать в этом случае лишь векторы, оканчивающиеся на верхней грани куба [2].

Рассмотрим сферу радиусом $a\sqrt{3}$, описанную вокруг куба со стороной $2a$, как показано на рис. 1. Представим себе вектор s , начинающийся от центра куба O и заканчивающийся на верхней грани куба в точке S . Продолжим вектор s , до пересечения с описанной сферой в точке S' . При перемещении точки S по периметру верхней грани куба, точка S' очертит четырехсторонний сферический многоугольник, площадь поверхности которого будет равна $\frac{1}{6} [4\pi(a\sqrt{3})^2] = 2\pi a^2$.

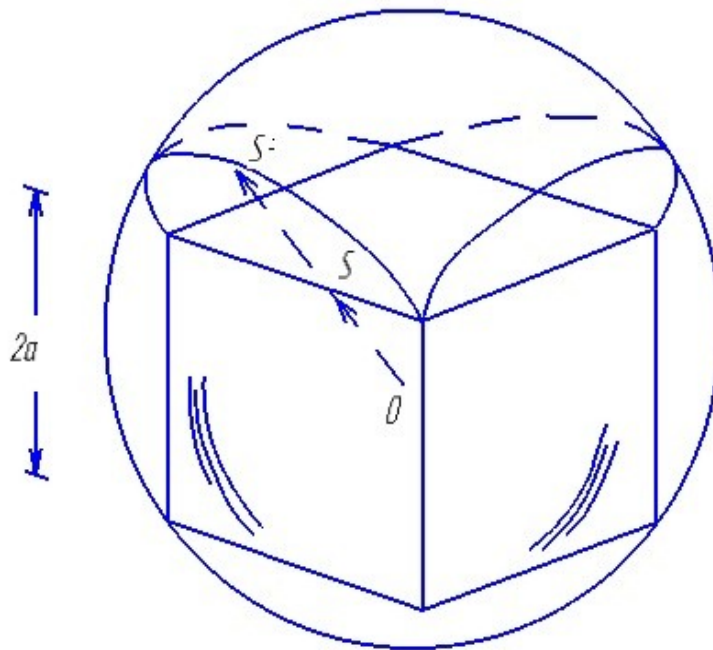


Рис. 1. Куб и описанная сфера

Для заданного r (например, $r=R$) все векторы длиной меньше R , будут заключены в конусе с образующей R , как показано на рис. 2. Этот конус пересекается с плоскостью куба по окружности C_1 и с поверхностью сферы – по окружности C_2 . Окружность C_2 образует основание сферического сегмента, а поверхность этого сегмента, деленная на $2\pi a^2$ (поверхность сферического многоугольника), является суммарной вероятностью $Pr (r < R)$.

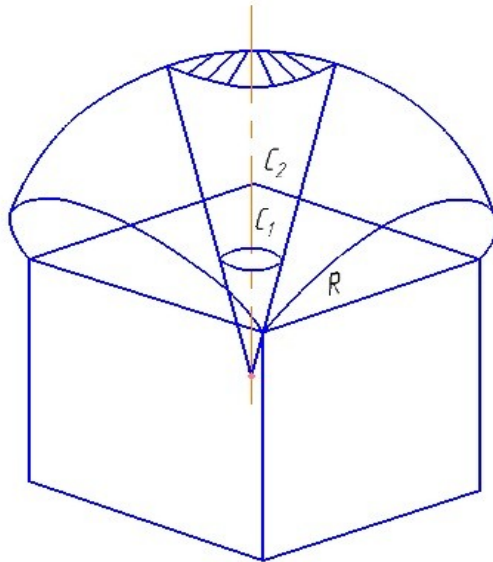


Рис. 2. Схема вывода суммарной функции распределения

Определение данного участка описывающей поверхности дает следующее выражение для суммарной функции распределения:

$$F(r) = 3 \left(1 - \frac{a}{r} \right); a < r < a\sqrt{2}, \quad (1)$$

и после дифференцирования

$$f(r) = \frac{3a}{r^2}; a < r < a\sqrt{2}, \quad (2)$$

для функции плотности вероятности.

Отметим, что уравнения (1) и (2) должны быть соответствующим образом изменены, чтобы учесть, что пересечение конуса с гранью куба не полностью лежит в этой грани. Для внесения необходимой поправки требуется лишь определить, какая часть пересекающейся окружности лежит в пределах грани куба, и использовать этот коэффициент при определении дифференциального элемента поверхности описанной сферы [3].

Из рис. 3:

$$\cos \beta = \frac{a}{x} = \frac{a}{\sqrt{r^2 - a^2}}, \quad (3)$$

и

$$\alpha = \frac{\pi}{4} - \beta = \frac{\pi}{4} - \arccos \left(\frac{a}{\sqrt{r^2 - a^2}} \right). \quad (4)$$

Тогда $\frac{\alpha}{(\pi/4)} - \beta = (4/\pi)\alpha$ – часть дуги окружности C_1 , лежащей на грани куба; такая же часть дуги C_2 лежит на поверхности сферического многоугольника, построение которого показано на рис. 1. Отсюда функция плотности вероятности будет

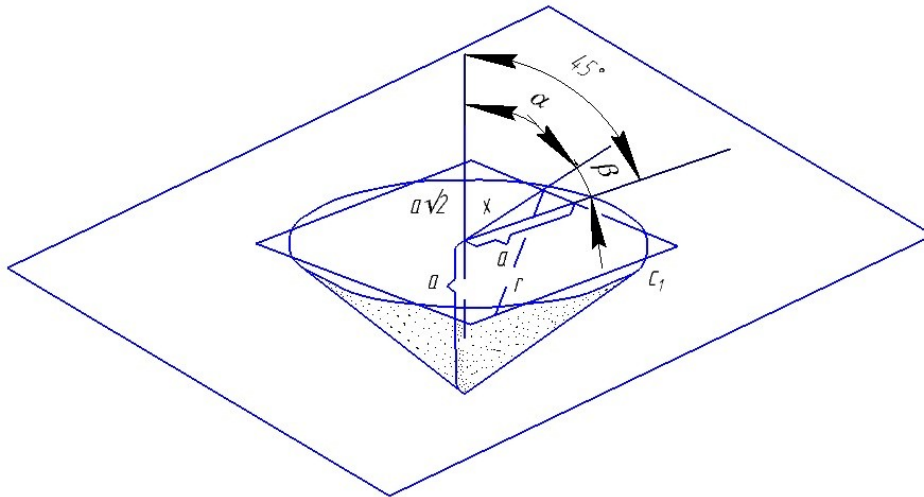


Рис. 3. Верхняя грань куба

$$f(r) = \begin{cases} \frac{3a}{r^2} & \text{при } a < r < a\sqrt{2}; \\ \frac{3a}{r^2} \left[1 - \frac{4}{\pi} \arccos \left(\frac{a}{\sqrt{r^2 - a^2}} \right) \right] & \text{при } a\sqrt{2} < r < a\sqrt{3}. \end{cases} \quad (5)$$

Интегрируя уравнение (4), получаем суммарную функцию распределения

$$F(r) = \begin{cases} 3 \left(1 - \frac{a}{r} \right) & \text{при } a < r < a\sqrt{2}; \\ 3 \left(1 - \frac{a}{r} \right) - \frac{12}{\pi} \left[\arcsin \left(\frac{\sqrt{r^2 - 2a^2}}{\sqrt{2(r^2 - a^2)}} \right) - \right. \\ \left. - \frac{a}{r} \arccos \left(\frac{a}{\sqrt{r^2 - a^2}} \right) \right] & \text{при } a\sqrt{2} < r < a\sqrt{3}. \end{cases} \quad (6)$$

Выводы

Решение для куба легко распространить и на прямоугольную призму с тремя неравными сторонами $2a$, $2b$, $2c$. В этом случае в виду низшего порядка симметрии по сравнению с кубом надо рассматривать три из шести плоскостей призмы. Вместо этого можно составить распределение длин радиус-векторов в числовом выражении. Последнее приближение имеет то преимущество, что его легко применить и для форм более сложных, чем прямоугольные призмы. В этом случае для выборочного представления поверхности частицы выбирают большое число векторов, причем длина каждого вектора вычисляется геометрически. По этим данным может быть построена суммарная частотная характеристика, аппроксимирующая суммарную функцию распределения с любой степенью точности.

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием. Монография. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 136с.

2. Сергеевичев А.В., Федяев А.А. Анализ исследований геометрии зерна и динамики процесса шлифования // Системы. Методы. Технологии. Братск: БрГУ, 2015 №1 (25). С.129-134.
3. Розен В.В. Математические модели принятия решений. М.: Книжный дом «Университет», Высшая школа, 2002. 288 с.

Сведения об авторе

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

Аннотация

В данной статье понятие статистического многогранника ограничивается применением только для зерен относительно простой геометрии при относительно простой совокупности положений. Рассматриваются только прямоугольные призмы, но указываются методы, позволяют применить это понятие к более сложным формам. Для выборочного представления поверхности частицы выбирают большое число векторов, причем длина каждого вектора вычисляется геометрически. По этим данным может быть построена суммарная частотная характеристика, аппроксимирующая суммарную функцию распределения с любой степенью точности.

Ключевые слова: шлифование древесины, геометрические параметры абразивных зерен.

УДК 621. 941: 216. 01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

К вопросу исследования износостойкости шлифовальных шкур

Сергеевичев В.В., Сергеевичев А.В.

В процессе работы шлифовальных лент происходит их затупление, приводящее к потере ими режущей способности вследствие осыпания зерен, засаливания рабочей поверхности шкурки.

По современным представлениям, основной причиной снижения работоспособности и износостойкости шлифовальных шкур при обработке древесины является засаливание, которое происходит вследствие защемления сошлифованных частиц древесины в межзерновом пространстве, прилипания

частиц шлифовальной пыли к поверхности шкурки, что обусловлено липкостью смазки и выделением смолистых веществ древесины при нагреве, накоплением на шкурке электростатического заряда, недостаточным объемом свободного межзернового пространства [1].

На продолжительность работы шлифовальной ленты до полного износа оказывают влияние следующие основные факторы процесса шлифования, которые можно разделить на две группы [2]:

Факторы, относящиеся к обрабатываемому материалу и режимам обработки. Интегральной характеристикой этих факторов является производительность шлифования;

Факторы, относящиеся к конструкции инструмента, а именно: вид используемого связующего, способ насыпки зерна, объем межзернового пространства шкурки, вид используемого абразивного материала. Причем определяющим фактором во второй группе является объем межзернового пространства.

В отличие от обработки других материалов, где износ и затупление шлифовального инструмента в основном определяется истиранием вершин режущих зерен, изломом зерен, вырыванием их из связки [3], при шлифовании древесины решающую роль в затуплении инструмента играет засаливание шкурок отходами шлифования.

Для выяснения связи между износостойкостью шлифовальной ленты и указанными выше факторами рассмотрим процесс размещения сошлифованного объема стружки в межзерновом пространстве.

При перемещении единицы площади шкурки относительно единицы площади древесины за один проход будет сошлифован объем материала, равный a рис. 1. Этот объем древесины размещается в межзерновом пространстве в виде воздушнопылевого облака:

$$\rho = \frac{a}{V_c} \quad (1)$$

где V_c – объем свободного межзернового пространства на единице площади шкурки, мм³.

Плотность этого облака поддерживается постоянной в течение всего времени работы шкурки.

При выходе шкурки из зоны контакта с древесиной часть стружки выбрасывается из межзернового пространства, другая часть остается там вследствие различных причин, как то: механическое застревание, адгезия стружки к связке, удерживание стружки силами статического электричества (рис. 1). Объем застрявшей части шлифовальной пыли:

$$dV_s = ca \quad (2)$$

где V_3 – объем застрявшей части шлифовальной пыли, мм^3 ; c – доля застрявшей части стружки от общего объема сошлифованной древесины.

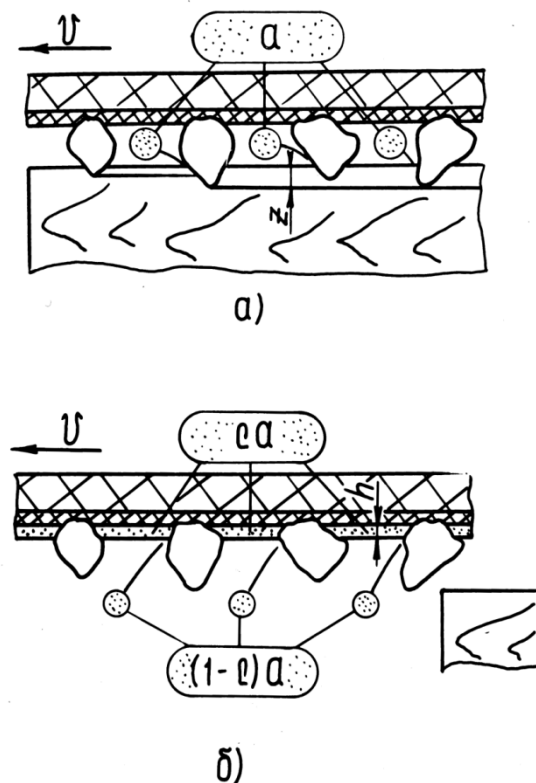


Рис. 1. Изменение объема межзернового пространства шкурки

С учетом (2), объем свободного межзернового пространства уменьшится и примет значение

$$V'_c = V_c - dV_3 \quad (3)$$

Выводы

Количество срезанной стружки a не сможет разместиться в объеме V'_c с плотностью ρ . Это приведет к вытеснению зерен из древесины и, следовательно, к уменьшению количества срезаемой стружки.

Библиографический список

1. Рыбин Б.М. Санаев В.Г., Кириллов Д.В. К вопросу выбора параметров шероховатости для оценки неровности древесины // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. М.: МГУЛ, 2014. №4. С.131-137.
2. Сергеевичев А.В., Федяев А.А. Анализ исследований геометрии зерна и динамики процесса шлифования // Системы. Методы. Технологии. Братск: БрГУ, 2015 №1 (25). С.129-134.
3. Сергеевичев А.В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием. Монография. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 136с.

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	отсутствует
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

По современным представлениям, основной причиной снижения работоспособности и износостойкости шлифовальных шкурочек при обработке древесины является засаливание, которое происходит вследствие защемления сошлифованных частиц древесины в межзерновом пространстве, прилипания частиц шлифовальной пыли к поверхности шкурки, что обусловлено липкостью смазки и выделением смолистых веществ древесины при нагреве, накоплением на шкурке электростатического заряда, недостаточным объемом свободного межзернового пространства.

Ключевые слова: шлифование древесины, межзерновое пространство абразивного инструмента.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

К вопросу конструирования абразивных инструментов

Сергеевичев А.В.

Шлифование – это процесс резания, во многом сходный с фрезерованием, точением и строганием. В течение долго времени было принято при анализе рассматривать каждое абразивное зерно, нанесенное на основу, как вершину миниатюрного резца и применять при этом обычную схему процесса резания, предложенную Мерчантом.

В отличие от большинства режущих инструментов геометрия абразивных зерен меняется в широких пределах. Поэтому такие важные параметры, как задний и передний угол зерна, могут быть определены только статически [1]. Кроме того, сложность геометрии режущих частиц исключает применение чисто детерминистического подхода к конструированию абразивного инструмента.

В данной статье приводится статистический метод решения некоторых вопросов конструирования абразивных инструментов. Вводится понятие статистического многогранника и указывается способ пользования им для решения проблем конструирования.

Понятие статистического многогранника развилось на основе попыток связать режущую способность абразивных частиц с их геометрической формой и расположением относительно обрабатываемой детали. Как показано на рис. 1, контакт абразивного зерна с обрабатываемой поверхностью может быть точечным, линейным или плоскостным.

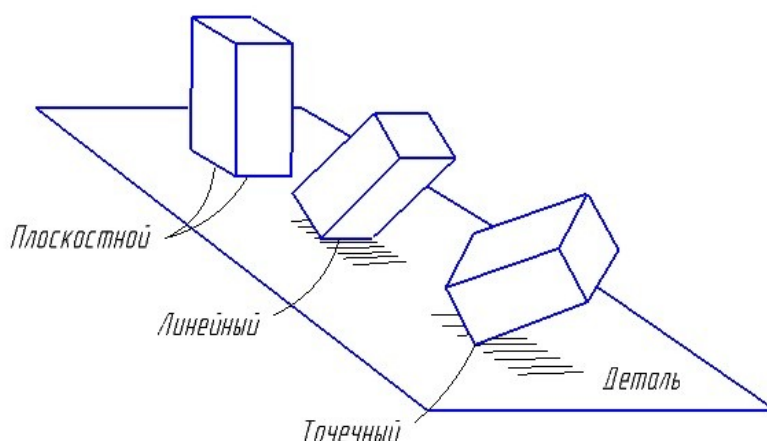


Рис. 1. Виды контакта абразивного зерна с обрабатываемой деталью

В абразивных изделиях, как положение, так и форма зерна меняются. Поэтому влияние формы абразивных частиц на режущую способность заметно меняется в зависимости от их расположения относительно обрабатываемой детали [2].

Под статистическим многогранником понимается многогранная форма в совокупности с множеством ее положений. Интерес представляют два случая расположения частиц:

- беспорядочное расположение в трехмерном пространстве;
- беспорядочное азимутальное расположение на плоскости.

Первое применимо к связанным абразивам, у которых зерна беспорядочно расположены в трехмерной матрице. Второе более применимо к нанесенным абразивам, поскольку как при электростатическом процессе, так и при гравитационном нанесении абразивных частиц достигается известная упорядоченность частиц в отношении их расположения в направлении, перпендикулярном плоскости основы.

На рис. 2 представлена пространственная система координат, показывающая различные положения, которые может занимать зерно по отношению к детали. Радиус-вектор r , проведенный из центра тяжести зерна к его поверхности, может занять любое положение в пространстве. Если плоскость P , перпендикулярную вектору r , принять за плоскость обрабатываемой детали, сумма всех таких плоскостей представит сумму всех направлений, по которым разные зерна могут соприкоснуться с обрабатываемой деталью. Вектор плоскости резания v для каждого радиус-вектора r может иметь любое направление на плоскости. Для нанесенного абразива вектор r более или менее определяется методом нанесения зерна, вектор v может иметь любое направление в плоскости P . Для связанных абразивов направления как r , так и v будут статическими переменными [3].

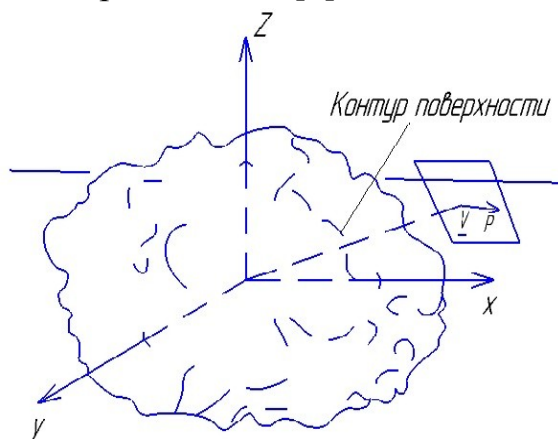


Рис. 2. Изображение геометрии частицы и ее ориентации относительно обрабатываемой детали

Отметим два следующих важных параметра статистического многогранника:

- Суммарная функция распределения $F(r)$ радиусов, измеренных от центра зерна до его поверхности в различных направлениях.
- Статистическое распределение проекций поверхности зерна.

Первый параметр представляет интерес при анализе усилий и износа характеристик зерна. Второй, как будет видно из дальнейшего, создает возможную основу для измерения формы абразивных зерен.

Выводы

Идея статистического многогранника позволяет сочетать в едином понятии такие параметры, как размер, форма и ориентация частиц, что весьма полезно при определении режущей способности абразивного зерна. Это понятие позволяет оценивать очень важные характеристики излома и износа абразивного зерна. Однако суммарная функция распределения $F(r)$ не является однозначной и не может характеризовать тонкую структуру поверхности частиц.

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В. Состояние вопроса шлифования древесины // Сборник материалов международной научно-практической конференции молодых ученых // СПб.: СПбГЛТА, 2008. С.134-136.
2. Сергеевичев А.В., Фурин А.Н. Зависимость износостойкости шлифовальных лент от их параметров при постоянном давлении прижима // Современные проблемы механической технологии древесины. СПб.: СПбГЛТУ, 2010. С.165-171.
3. Сергеевичев А.В. Форма режущих кромок рабочей поверхности абразивного инструмента для шлифования древесины и древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 210. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. С.169-180.

Сведения об авторе

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

Аннотация

В отличие от большинства режущих инструментов геометрия абразивных зерен меняется в широких пределах. Поэтому такие важные параметры, как задний и передний угол зерна, могут быть определены только статически. Кроме того, сложность геометрии режущих частиц исключает применение чисто детерминистического подхода к конструированию абразивного инструмента. Идея статистического многогранника позволяет сочетать в едином понятии такие параметры, как размер, форма и ориентация частиц, что весьма полезно при определении режущей способности абразивного зерна

Ключевые слова: шлифование древесины, статистический метод при конструировании абразивных инструментов.

УДК 621. 941: 216. 01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

К вопросу математического моделирования процесса шлифования древесины

Сергеевичев А.В.

Практически во всех прикладных областях техники принятие оптимальных решений и анализ риска являются одними из важнейших этапов реализации проектов и разработок.

Понятие риска различным образом трактуется в литературе. Однако большинство определений сводится к тому, что главной целью анализа риска является поддержка процесса принятия решений. Анализ риска обеспечивает базу для сравнения различных вариантов систем, действий, реализаций в условиях неопределенности. При этом риск возникает только тогда, когда имеет место неопределенность относительно событий в будущем, которые определяют выбор того или иного варианта решения. С этой точки зрения анализ риска можно рассматривать как один из аспектов теории принятия решений, что также определяет выбор мер, или показателей, риска. Можно выделить две наиболее распространенные меры риска [1]. Первая мера основана на определении вероятности того, что некоторое событие, представляющее интерес и определяющее стратегию принятия решений, превышает заданное заранее нормативное или предельное значение. Использование данной меры риска приводит к поиску такого решения, при котором определяемая вероятность максимальна или минимальна в зависимости от конкретной ситуации принятия решений. Вторая мера использует некоторую весовую сумму последствий принятия определенного решения при наступлении того или иного события. При этом в большинстве случаев в качестве весов используют вероятности наступления соответствующих событий, что позволяет говорить о второй мере как об ожидаемых последствиях решения. Использование данной меры риска приводит к поиску такого решения, при котором ожидаемые последствия максимальны или минимальны в зависимости от поставленной задачи [2].

Определяющим фактором при анализе риска и принятии решений является наличие информации в том или ином виде об интересующих объектах и событиях. В этом случае необходимо различать неопределенность, которая объективно всегда имеет место и влияет на процесс принятия решения, и неполноту информации. Можно иметь полную информацию о событиях в будущем, но это не изменяет степень неопределенности того, какое событие произойдет. Полнота имеющейся информации в данном случае заключается только в том, что точно известен закон, в соответствии с которым наступит то или иное событие, например, распределение вероятностей событий, что в свою

очередь подразумевает наличие достаточной статистики для вычисления этих вероятностей. Существует большое количество методов обработки такой неполной информации и принятия решений на ее основе. Большинство методов направлено на поиск подходящей замены неполной информации. Наиболее простым примером такой замены является использование постулата Лапласа, согласно которому при полном отсутствии какой-либо информации, то есть при максимальной степени ее неполноты, следует использовать равномерное распределение вероятностей. Альтернативой данному подходу в обработке неполной информации может служить байесовский подход [3].

Многие статистические задачи независимо от методов их решения обладают общим свойством: до того, как получен конкретный набор данных, в качестве потенциально приемлемых для изучаемой ситуации рассматривается несколько вероятностных моделей. После того, как получены данные, возникает выраженное в некотором виде знание об относительной приемлемости этих моделей. Одним из способов «пересмотра» относительной приемлемости вероятностных моделей является байесовский подход, основой которого выступает теорема Байеса.

Несмотря на то, что так называемая традиционная частотная школа статистического вывода, представленная работами таких ученых, как Фишер, Ньюмен, Пирсон, и многими другими, доминирует в статистике в настоящее время, байесовские методы показали чрезвычайно стремительное развитие в последние десятилетия. Причина этого заключается в том, что байесовский подход имеет ряд существенных преимуществ, которые делают его достаточно привлекательным для широкого применения. Детальный анализ большинства достоинств байесовского подхода в статистике по сравнению с традиционным частотным подходом представлен в работе [4].

Основное отличие байесовского подхода от других статистических подходов состоит в том, что до того, как будут получены данные, лицо, принимающее решение рассматривает степени своего доверия к возможным моделям и представляет их в виде вероятностей.

Выводы

Как только данные получены, теорема Байеса позволяет рассчитать новое множество вероятностей, которые представляют пересмотренные степени доверия к возможным моделям, учитывающие новую информацию, поступившую благодаря данным.

Библиографический список

1. Utkin L., Coolen F. On reliability growth models using Kolmogorov-Smirnov bounds. International Journal of Performability Engineering. 2011. V. 7. N 1. P. 5-19.

2. Utkin L.V., Kozine I.O. Stress-strength reliability models under incomplete information // International Journal of General Systems. 2002. Vol. 31, N 6. Pp.549-568.
3. Чернолуцкий И.Г. Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 408с.
4. Ferson S. Bayesian methods in risk assessment: Tech. rep.: RAMAS, 2006

Сведения об авторе

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

Аннотация

Многие статистические задачи независимо от методов их решения обладают общим свойством: до того, как получен конкретный набор данных, в качестве потенциально приемлемых для изучаемой ситуации рассматривается несколько вероятностных моделей. После того, как получены данные, возникает выраженное в некотором виде знание об относительной приемлемости этих моделей. Одним из способов «пересмотра» относительной приемлемости вероятностных моделей является байесовский подход, основой которого выступает теорема Байеса.

Ключевые слова: шлифование древесины, байесовский подход.

УДК 621. 941: 216. 01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

К вопросу определения оптимального объема межзернового пространства абразивного инструмента

Сергеевичев А.В., Кушнерев В.О.

Вопросом математического моделирования поверхности шлифовального инструмента с целью объективного описания его рельефа занимались многие исследователи. Так, при решении задачи установления взаимосвязи рельефа инструмента с шероховатостью поверхности обрабатываемой детали использовались методы представления его в виде набора профилей: в виде «резьбовой гребенки» [1], в виде реализации случайной стационарной функции [2], в виде элементарных эффективных профилей [3]. Второй путь моделирования поверхности инструмента, использовавшийся при установлении

связи между характеристиками рельефа и его режущей способностью, заключается в представлении абразивных зерен в виде тел различной формы: шара, эллипсоида [4]. В работе [5] предлагается статистическая многогранная модель зерна.

В данной статье рассматривается второй путь, так как он более простой и не требует громоздких математических выкладок и достаточно точно описывает поверхность шлифовального инструмента.

Необходимые объемы V_0 и V_3 найдем из следующих условий:

- Известно, что абразивные зерна имеют нормальный закон распределения;
- Зерна принимаем шарообразной формы, диаметром x различной величины;
- Заглубление зерен в связку не учитывается.

Расчетная схема представлена на рис. 1.

Пусть i – количество зерен на единице поверхности шкурки. Количество зерен di узкого класса dx , находящихся на единице поверхности:

$$di = \frac{i}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx \quad (1)$$

где \bar{x} – средний диаметр зерна, мм; σ – среднеквадратическое отклонение.

Объем этих зерен равен:

$$dV = \frac{\pi}{6} x^3 di \quad (2)$$

Объем всех зерен, находящихся на единице поверхности шкурки:

$$V = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{i}{6\sigma} \int_{\bar{x}-3\sigma}^{\bar{x}+3\sigma} x^3 e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx \quad (3)$$

Вводя замену переменных $u = \frac{x-\bar{x}}{\sigma}$, преобразуя интеграл к виду:

$$J = \frac{1}{\sigma} \int_{\bar{x}-3\sigma}^{\bar{x}+3\sigma} x^3 e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx = \int_{-3}^3 (u\sigma + \bar{x})^3 \exp\left[-\frac{u^2}{2}\right] du = J_1 + J_2 + J_3 + J_4$$

где $J_1 = \sigma^3 \int_{-3}^3 u^3 e^{-\frac{u^2}{2}} du$; $J_2 = 3\sigma^2\bar{x} \int_{-3}^3 u^2 e^{-\frac{u^2}{2}} du$; $J_3 = 3\sigma\bar{x}^2 \int_{-3}^3 u e^{-\frac{u^2}{2}} du$;
 $J_4 = \bar{x}^3 \int_{-3}^3 e^{-\frac{u^2}{2}} du$.

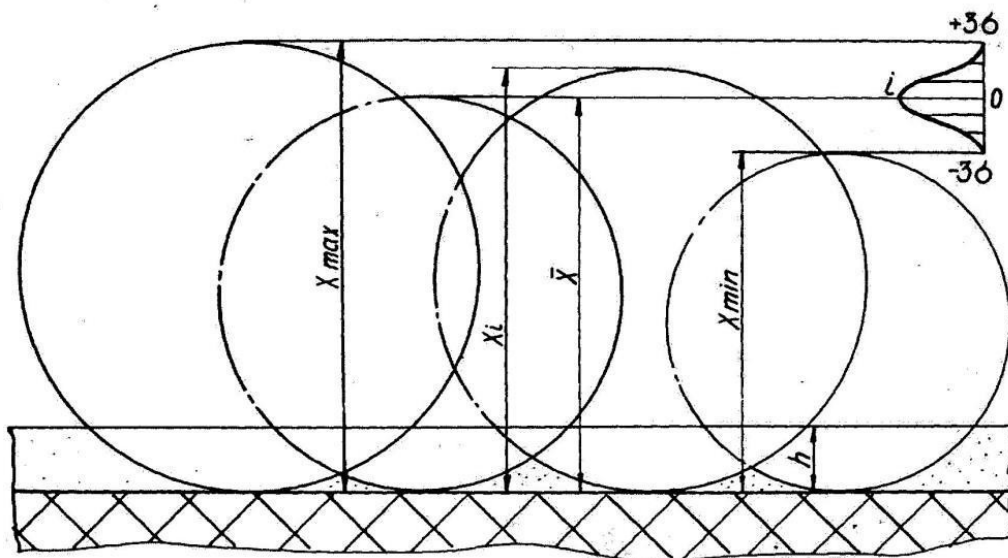


Рис. 1. Расчетная схема при определении объема межзернового пространства шлифовальной шкурки

Решая интеграл J_1 , получим:

$$J_1 = \sigma^3 \int_{-3}^3 u^3 e^{-\frac{u^2}{2}} du = 2 \int_{-3}^3 e^{-\frac{u^2}{2}} \left(-\frac{u^2}{2} \right) d\left(-\frac{u^2}{2} \right) \\ = 2 \left[\left(-\frac{u^2}{2} \right) e^{-\frac{u^2}{2}} \frac{3}{-3} - e^{-\frac{u^2}{2}} \frac{3}{-3} \right] = 0$$

Интеграл J_2 через элементарные функции не выражается. Разложим подынтегральную формулу в ряд:

$$\exp \left[-\frac{u^2}{2} \right] = \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\left(-\frac{u^2}{2} \right)^n}{n!}$$

Тогда

$$J_2 = 3\sigma^2 \bar{x} \int_{-3}^3 \sum_{n=0}^{\infty} \left[\frac{(-1)^n u^{2(n+1)}}{n! 2^n} \right] du = 3\sigma^2 \bar{x} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n 3^{2n+3}}{n! (2n+3) 2^{n+1}}$$

Интеграл J_3 решается аналогично J_1 :

$$J_3 = 3\sigma \bar{x}^2 \int_{-3}^3 u e^{-\frac{u^2}{2}} du = 0 \quad (4)$$

Так как J_4 – функция Лапласа, то

$$J_4 = 2\sqrt{2\pi} \bar{x}^3 \Phi_0(3) \approx \bar{x}^3 \sqrt{2\pi}$$

Следовательно

$$J = 3\sigma^2\bar{x} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n 3^{2n+3}}{n!(2n+3)2^{n+1}} + \bar{x}^3 \sqrt{2\pi} \quad (5)$$

С учетом этого объема зерен на единице площади:

$$V = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{i}{6} \left[3\sigma^2\bar{x} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(-1)^n 3^{2n+3}}{n!(2n+3)2^{n+1}} + \bar{x}^3 \sqrt{2\pi} \right] \quad (6)$$

Объем межзернового пространства на единице поверхности шкурки:

$$V_0 = S_1 x_{max} - V \quad (7)$$

где S_1 – площадь единицы поверхности зерна, мм²; x_{max} – максимальный размер зерна, мм.

Ряд в формуле (6) вычислен с точностью до 10^{-6} и составляет 2,43321.

Среднеквадратическое отклонение $\sigma = \frac{x_{max} - x_{min}}{6}$.

При анализе размеров зерен установлено, что среднеквадратическое отклонение для зернистостей 12, 16, 20 составляет соответственно $0,041\bar{x}$, $0,038\bar{x}$, $0,037\bar{x}$. Подсчитанные по формулам (6) и (7) значения объемов свободного межзернового пространства для этих зернистостей на площади поверхности шкурки $1 \cdot 10^{-4}$ м² равны соответственно $0,0113 \cdot 10^{-6}$ м³, $0,0131 \cdot 10^{-6}$ м³, $0,0142 \cdot 10^{-6}$ м³.

Объем стружки, застрявшей в межзерновом пространстве:

$$V_3 = S_1 h - V_h \quad (8)$$

где S_1 – площадь единицы поверхности, в данном случае $S_1 = 1 \cdot 10^{-4}$ м²; h – высота засаливания, м; V_h – объем части зерен, засыпанной стружкой (покрытой слоем толщиной h), м³.

Объем шарового сегмента:

$$V_h = \frac{1}{3} \pi h^2 \left[\frac{3}{2} x - h \right] \quad (9)$$

где h – высота сегмента (засаливания), мм; x – диаметр зерна, мм.

Объем засыпанной части зерен узкого класса dx , расположенных на единице поверхности шкурки:

$$dV_h = \frac{1}{3} \pi h^2 \left[\frac{3}{2} x - h \right] \frac{i}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}} dx \quad (10)$$

Для всей совокупности зерен, расположенных на единице поверхности шкурки, объем засыпанной части зерен:

$$V_h = \int_{\bar{x}-3\sigma}^{\bar{x}+3\sigma} \frac{1}{3} \pi h^2 \left[\frac{3}{2} x - h \right] \frac{i}{\sigma \sqrt{2\pi}} \exp \left[-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2} \right] dx \quad (11)$$

Введем замену переменных $u = \frac{x-\bar{x}}{\sigma}$ и преобразуем интеграл к виду:

$$V_h = \frac{i\pi h^2}{3\sqrt{2\pi}} \int_{-3}^3 \left(\frac{3}{2} u\sigma + \frac{3}{2} \bar{x} - h \right) e^{-\frac{u^2}{2}} du = \frac{i\pi h^2}{3\sqrt{2\pi}} [J_1 + J_2]$$

где $J_1 = \frac{3}{2} \int_{-3}^3 u\sigma e^{-\frac{u^2}{2}} du$; $J_2 = \left(\frac{3}{2} \bar{x} - h \right) \int_{-3}^3 e^{-\frac{u^2}{2}} du$.

В соответствии с (4) $J_1 = 0$.

Второй интеграл представляет собой функцию Лапласа.

$$J_2 = \left(\frac{3}{2} \bar{x} - h \right) \int_{-3}^3 e^{-\frac{u^2}{2}} du = \sqrt{2\pi} \left(\frac{3}{2} \bar{x} - h \right) 2\Phi_0(3) \approx \sqrt{2\pi} \left(\frac{3}{2} \bar{x} - h \right)$$

Тогда выражение для вычисления объема засыпанной части зерен можно записать как:

$$V_h = \frac{i\pi}{3} h^2 \left(\frac{3}{2} \bar{x} - h \right) \quad (12)$$

где i – количество зерен на единице площади шкурки, шт.; h – высота засаливания, мм; \bar{x} – средний размер (диаметр) зерна, мм.

Или, подставляя $k = \frac{h}{\bar{x}}$, получим:

$$V_h = \frac{i\pi}{3} h^3 F(k) \quad (13)$$

где $F(k)$ – функция степени засаливания, отношения высоты засаливания к среднему диаметру зерен.

Значения функции $F(k)$ приведены в табл. 1, а ее график на рис. 2.

Таблица 1.

Значение функции $F(k)$

k	0,10	0,20	0,330	0,40	0,50
$F(k)$	14,00	6,50	4,00	2,75	2,00
k	0,60	0,70	0,80	0,90	1,00
$F(k)$	1,50	1,14	0,87	0,66	0,50

Объем стружки, застрявшей в свободном межзерновом пространстве:

$$V_3 = S_1 h - \frac{i}{3} \pi h^3 F(k) \quad (14)$$

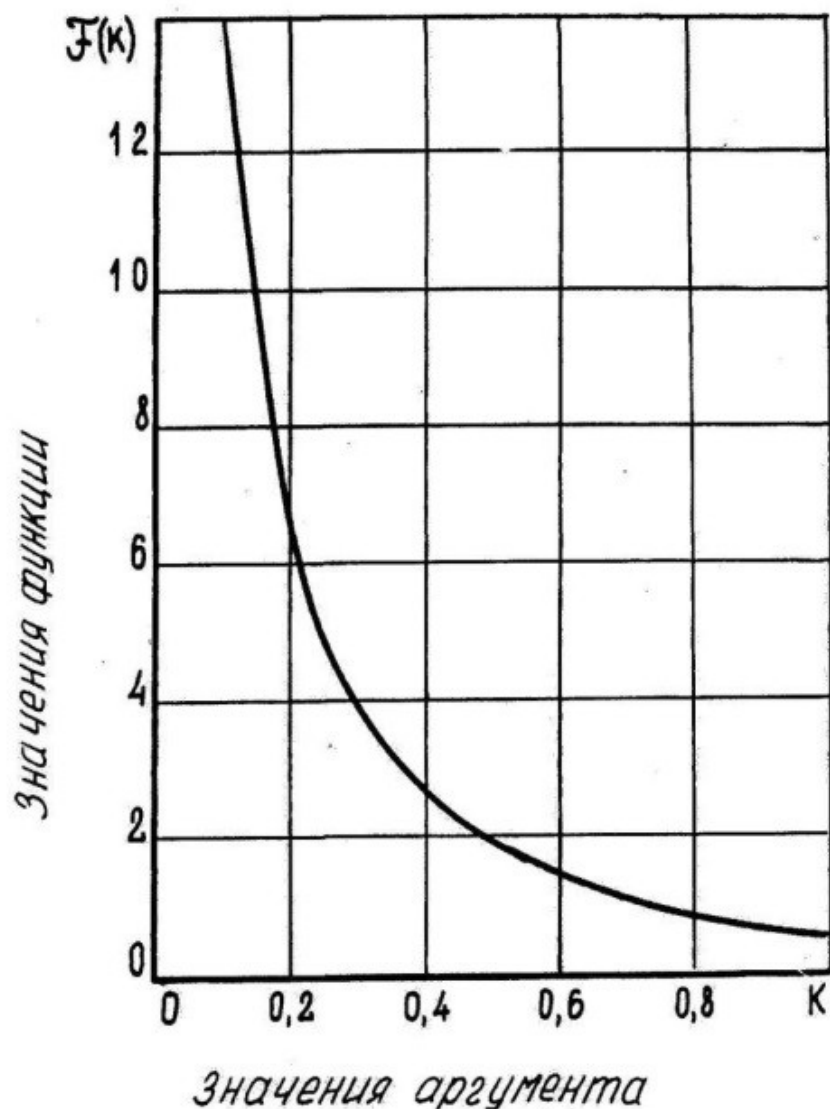


Рис. 2. График функции $F_k = \frac{3}{2k} - 1$

Выводы

В реальном процессе при шлифовании используется минимальное давление прижима, обеспечивающее заданную производительность шлифования. По мере снижения производительности, периодически давление прижима повышается, с целью сохранить ее значение на прежнем уровне.

Библиографический список

1. Кулаков Ю.М., Хрульков В.А., Дунин-Барковский И.В. Предотвращение дефектов при шлифовании. – М.: Машиностроение, 1977. 144с.
2. Новоселов Ю.К. Динамика формообразования поверхностей при абразивной обработке. Севастополь: СевНТУ, 2012. 304 с.
3. Аврутин Ю.Д. Описание рельефа рабочей поверхности шлифовального круга и анализ процесса формирования рельефа шлифованной поверхности //Труды ВНИИАШ, 1975. №14. С27-40.
4. Островский В.И. Теоретические основы процесса шлифования. Л.: ЛГУ, 1981. 144с.

5. Сергеевичев А.В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием. Монография. СПб.:СПбГЛТУ, 2015. 136с.

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	Кушнерев Виктор Олегович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	отсутствует

Аннотация

Представлена математическая модель поверхности абразивного инструмента, отражающая связь между характеристиками рельефа инструмента и его режущей способностью.

Ключевые слова: шлифование древесины, математическая модель поверхности абразивного инструмента.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

К вопросу повышения износостойкости шлифовальных лент

Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.

По современным представлениям, основной причиной снижения работоспособности и износостойкости шлифовальных шкур при обработке древесины является засаливание, которое происходит вследствие защемления сошлифованных частиц древесины в межзерновом пространстве, прилипания частиц шлифовальной пыли к поверхности шкурки, что обусловлено липкостью смазки и выделением смолистых веществ древесины при нагреве,

накоплением на шкурке электростатического заряда, недостаточным объемом свободного межзернового пространства [1].

На продолжительность работы шлифовальной ленты до полного износа оказывают влияние следующие основные факторы процесса шлифования, которые можно разделить на две группы [2]:

Факторы, относящиеся к обрабатываемому материалу и режимам обработки. Интегральной характеристикой этих факторов является производительность шлифования;

Факторы, относящиеся к конструкции инструмента, а именно: вид используемого связующего, способ насыпки зерна, объем межзернового пространства шкурки, вид используемого абразивного материала. Причем определяющим фактором во второй группе является объем межзернового пространства.

Известная зависимость между износостойкостью шлифовальной ленты и основными показателями процесса шлифования: режимами шлифования, характеристикой которых является удельная производительность шлифования a_0 ; конструкцией шкурки, характеризуемой геометрическим объемом свободного межзернового пространства V_0 , и коэффициентом c выглядит следующим образом [3]:

$$T = \frac{0,693V_0}{ca_0} \quad (1)$$

Износостойкость инструмента, подсчитанная по формуле (1), измеряется в количестве проходов (оборотов) шкурки относительно $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ обрабатываемой поверхности. Тогда, с учетом времени, необходимого на один проход и длины контакта, формула (1) примет вид

$$T = \frac{0,693 \cdot V_0 \cdot l_{\text{шл}}}{c \cdot a_0 \cdot v \cdot L} \quad (2)$$

где T – износостойкость шлифовальной ленты, с; V_0 – объем межзернового пространства на $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ площади поверхности шкурки, м^3 ; $l_{\text{шл}}$ – длина шлифовальной ленты, м; c – доля застрявшей в межзерновом пространстве стружки от общего объема сошлифованной древесины; a_0 – начальная удельная производительность шлифования на заданном режиме, м^3 ; v – скорость резания, м/с; L – длина контакта шкурки с древесиной, выраженная в количестве участков длиной $1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$.

Возможное снижение износостойкости шкурки из-за выпадения зерен из связи учитывается коэффициентом C_z

$$T = \frac{0,693 \cdot V_0 \cdot l_{\text{шл}}}{C_z \cdot c \cdot a_0 \cdot v \cdot L} \quad (3)$$

где C_z – коэффициент, учитывающий выпадение зерен, $C_z = 1,00$ при обработке мягких пород древесины, $C_z = 1,25$ при обработке твердых пород древесины.

Для расчетов по формуле (3) необходимо знать значения a_0 , v_0 , c . Начальная удельная производительность может определяться по формуле:

$$a_0 = a_z \cdot a_n \frac{101,8Q}{10^6 \gamma \sqrt{z}} \quad (4)$$

где a_z – коэффициент, учитывающий материал абразивных зерен; a_n – коэффициент, учитывающий способ насыпки зерен; Q – сила прижима, Н; γ – удельный вес древесины, $1 \cdot 10^4$ Н/м³; z – номер зернистости шкурки.

Коэффициент c находится из формулы:

$$V_3 = \frac{c a_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda \tau}) = c A$$

или

$$c = \frac{V_3}{A} \quad (5)$$

где V_3 – количество древесины, застрявшей к моменту износа, м³; A – количество древесины, сошлифованной к моменту износа, м³

Основные мероприятия по повышению износостойкости шлифовальных лент направлены на снижение засаливания путем устранения влияния того или иного фактора.

Уменьшения засаливания можно достичь путем снятия электростатического заряда, уменьшения адгезии частиц пыли к шкурке и их механического защемления. Для этого используются специальные антиадгезионные пленки, различные токопроводящие составы, устройства для вибрации шлифовальных лент, обдува, реверсивного шлифования, ультразвуковой очистки.

Увеличение межзернового пространства достигается изменением профиля рабочего слоя шлифовальной ленты или совершенствованием технологии ее изготовления. Примерами могут служить шлифовальные ленты с прерывистой поверхностью и введение электростатической насыпки зерен, приводящей к их выгодной ориентации, вместо гравитационной. Это позволяет в обоих случаях увеличить износостойкость шлифовальных лент.

Выводы

Повышение износостойкости шлифовальных лент можно добиться либо путем уменьшения засаливания, т.е. уменьшением доли застревающей в межзерновом пространстве стружки от общего количества сошлифованного материала, либо изменением профиля абразивного слоя шкурки с целью увеличения ее свободного межзернового пространства.

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В., Артеменков А.М. Аналитическое обоснование износостойкости шлифовальных лент с целью повышения их работоспособности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. № 214. СПб.: СПбГЛТУ, 2016, С. 190-203.
2. Сергеевичев А.В., Федяев Ар.А., Федяев А.А. Анализ режимов шлифования древесины и древесных материалов с позиции активных зерен // Системы. Методы. Технологии. Братск: БрГУ, 2015 №3 (27). С.123-127.
3. Хусу А.П., Витенберг Ю.Р., Пальков В.А. Шероховатость поверхностей: теоретико-вероятностный подход. М.: Наука, 1975. 344с.

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	отсутствует
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

Увеличение межзернового пространства достигается изменением профиля рабочего слоя шлифовальной ленты или совершенствованием технологии ее изготовления. Примерами могут служить шлифовальные ленты с прерывистой поверхностью и введение электростатической насыпки зерен, приводящей к их выгодной ориентации, вместо гравитационной. Это позволяет в обоих случаях увеличить износостойкость шлифовальных лент.

Ключевые слова: шлифование древесины, основные мероприятия по повышению износостойкости шлифовальных лент.

УДК 621. 941: 216. 01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Математическая модель кинетики изменения профиля формообразующего элемента за период стойкости абразивного инструмента

Сергеевичев А.В.

Резание древесины абразивным инструментом – шлифовальной шкуркой, носит массовый характер агрессии, связанный с дисперсной структурой шлифовальных шкурок.

Отличием шлифования от других видов механической обработки древесины резанием (строгание, фрезерование, сверление и т.д.) является отсутствие у абразивных инструментов постоянных, определенных геометрических параметров режущей части шлифовальной шкурки.

Резание древесины и древесных материалов при шлифовании осуществляется абразивными зёрнами. По форме абразивные зёрна могут быть изометричные, пластинчатые и мечевидные. Изометричные зёрна имеют округлую симметричную форму (приблизительно равные размеры по высоте, ширине и толщине), а зёрна пластинчатые и мечевидные имеют ярко выраженную несимметричную форму. Основной формой абразивных зёрен является изометричная.

Средний радиус закругления режущих кромок лезвий абразивных зёрен $\rho = 3 \dots 30$ мкм и зависит, соответственно, от размера зёрен. Это обстоятельство, в частности, указывает на то, что уменьшения шероховатости поверхности при шлифовании мелкозернистыми шкурками достигается не только за счёт уменьшения толщины срезаемых слоёв, но и за счёт более высокой остроты режущих кромок мелких зёрен [1].

Число абразивных зёрен, одновременно взаимодействующих с обрабатываемой поверхностью зависит от размера зёрен (зернистости), степени их затупления, площади контакта с обрабатываемым изделием и характеристик режима шлифования. Этими же параметрами, в основном, определяется величина шероховатости обработанной поверхности, производительность процесса и стойкость шлифовальной шкурки.

Абразивные зёрна изготавливаются из абразивного материала путем его дробления и измельчения. Абразивные материалы должны обладать высокой твердостью, прочностью и должны быть достаточно хрупкими. Абразивные материалы подразделяются на природные и искусственные (синтетические). К природным относятся кварц, наждак, кремень, корунд и др. Основным недостатком природных абразивных материалов является наличие примесей, существенно снижающие их режущие свойства [2].

Описание базового участка рабочей поверхности абразивного инструмента предусматривает определение геометрических размеров, числа и распределения формообразующих элементов. Форма элементов зависит от их природы и вида. Для процессов обработки лезвийным инструментом она задается в виде неслучайных параметров. Для процессов второй группы элементы не имеют регулярной геометрии, их форма может быть смоделирована случайными функциями.

Радиус-вектор точек контура абразивного зерна $R_g(\varphi)$ является случайной функцией угла φ , рис. 1.

$$R_g(\varphi, 0) = r_g + \sum_{k=2}^p (x_k \sin \omega_k \varphi + y_k \cos \omega_k \varphi), \quad (1)$$

где r_g – радиус средней окружности профиля, мкм, определяемый как среднее значение функции $R_g(\varphi, 0)$; x_k, y_k – случайные некоррелированные амплитуды, соответствующие k -й гармонике и имеющие равные дисперсии; ω_k – произвольно выбранная частота.

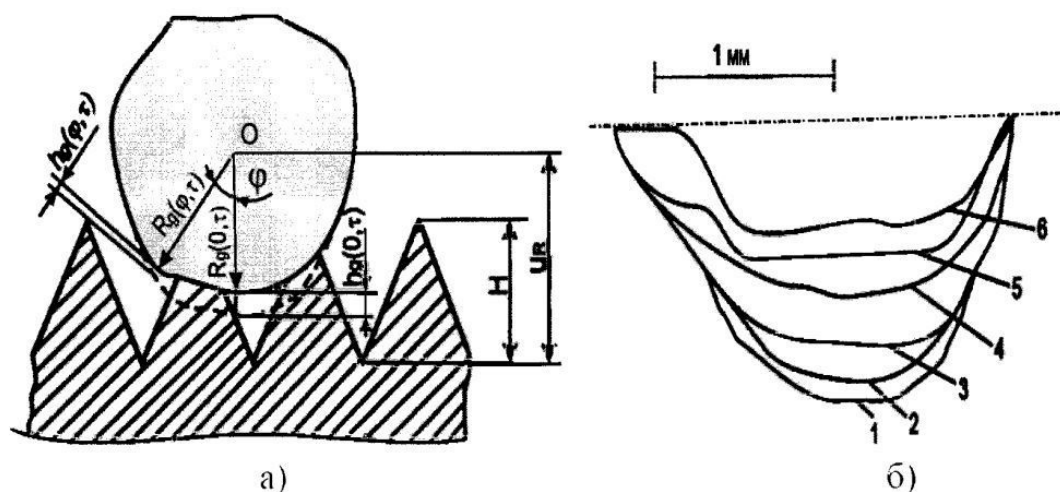


Рис. 1. Изменение контура абразивного зерна:

a – схема к расчету; *б* – контур вершины зерна электрокорунда нормального после одного, двух ... пяти проходов (кривые 2, 3, ... 6 соответственно)

Уравнение (1) является результатом разложения случайной функции в ряд Фурье и приемлемо для описания формы практически любых единичных элементов рабочей поверхности инструмента.

При записи уравнения (1) в виде

$$R_g(\varphi, 0) = r_g + \sum_{k=2}^p A_k \sin(k\varphi + \psi_k),$$

где $A_k = \sqrt{x_k^2 + y_k^2}$; $\operatorname{tg} \psi_k = y_k/x_k$, вычислены как математическое ожидание и корреляционная функция радиус-вектора точек контура абразивного зерна; $M[R_g(\varphi, 0)] = r_g$;

$$k_R(\varphi_1, \varphi_2) = \sigma_r^2 + \frac{1}{2} \sum_{k=2}^p (A_{0k}^2 + \sigma_{0k}^2) \cos k(\varphi_2 - \varphi_1), \quad (2)$$

где r_{g0} и σ_r^2 – математическое ожидание и дисперсия средней окружности контура зерна; A_{0k} и σ_{0k}^2 – математическое ожидание и дисперсия амплитуды синусоид.

Уравнения (1) и (2) описывают статический профиль режущих кромок. Для единичного абразивного зерна текущий полярный радиус $R_g(\varphi, \tau)$ меньше его значения в статике на величину износа $h_g(\varphi, \tau)$ за время τ [3]:

$$R_g(\varphi, \tau) = R_g(\varphi, 0) - h_g(\varphi, \tau). \quad (3)$$

Элементарное приращение величины износа в направлении полярного радиуса может быть принято пропорциональным относительному износу h_0 и длине пути резания $dL_p(\varphi, \tau)$:

$$dh_g(\varphi, \tau) = h_0 dL_p(\varphi, \tau) = h_0 (V_k \pm V_u) P_k(\varphi, \tau) d\tau, \quad (4)$$

где V_k и V_u – скорости абразивного инструмента и заготовки, м/с; $P_k(\varphi, \tau)$ – вероятность контакта точки профиля с материалом.

При лезвийной обработке сплошных поверхностей $P_k = 1$, $V_k = 0$, из уравнения (4) получаем известную в резании зависимость:

$$h = h_0 V_u \tau.$$

При обработке деталей абразивными инструментами $P_k(\varphi, \tau)$ всегда бывает меньше или равно единицы, так как на поверхности имеются риски от исходной шероховатости или от ранее прошедших зерен. В общем случае вероятность контакта определяется как соотношение суммы отрезков, отсекаемых в материале на данном уровне, к базовой длине $L \rightarrow \infty$ и по величине совпадает с математическим ожиданием относительной опорной длины профиля. При микрорезании поверхности с регулярным профилем в виде треугольных рисок (рис.1), вероятность контакта точки контура зерна вычисляется из соотношения [3]:

$$P_k(\varphi, \tau) = \begin{cases} 0, & \text{при } R_g(\varphi, \tau) \cos \varphi < u_R - H \\ \frac{R_g(\varphi, \tau) \cos \varphi + H - u_R}{H}, & \text{при } R_g(\varphi, \tau) \cos \varphi \geq u_R - H \\ 1, & \text{при } R_g(\varphi, \tau) \cos \varphi \geq u_R \end{cases}$$

а дифференциальное уравнение (4) для точек профиля, находящихся в зоне микронеровностей, принимает вид:

$$h'_g(\varphi, \tau) = \frac{h_0 (V_k \pm V_u)}{H} [R_g(\varphi, 0) \cos \varphi - h_g(\varphi, \tau) \cos \varphi + H - u_R], \quad (5)$$

где H – величина слоя шероховатости поверхности, мкм; u_R – расстояние от нижней границы слоя до центра зерна, мкм.

Для решения дифференциального уравнения (5) необходимо иметь закон изменения расстояния от наиболее глубокой впадины профиля до центра абразивного зерна. При $u_R = const$:

$$h_g(\varphi, \tau) = \left[R_g(\varphi, 0) + \frac{H - u_R}{\cos\varphi} \right] \left[1 - \exp\left(-\frac{h_0(V_k \pm V_u)\tau}{H} \cos\varphi \right) \right] = \\ = \left[R_g(\varphi, 0) + \frac{H - u_R}{\cos\varphi} \right] \psi(\varphi, \tau).$$

При $u_R = u_{R0} + V_R\tau$, где V_R – скорость движения центра зерна в направлении перпендикулярном поверхности, м/с, аналогичная зависимость принимает вид:

$$h_g(\varphi, \tau) = \left[R_g(\varphi, 0) + \frac{H - u_{R0}}{\cos\varphi} - \frac{V_R H}{h_0(V_k \pm V_u)\cos^2\varphi} \right] \psi(\varphi, \tau) + \frac{V_R\tau}{\cos\varphi}.$$

Математическое ожидание и корреляционная функция профиля изношенной части формообразующего элемента в общем виде вычисляются:

$$M[R_g(\varphi, \tau)] = M[R_g(\varphi, 0)] - M[h_g(\varphi, \tau)]; \quad (6)$$

$$k_R(\varphi_1, \varphi_2, \tau) = M[(R_g(\varphi_1, \tau) - m_R(\varphi_1, \tau))(R_g(\varphi_2, \tau) - m_R(\varphi_2, \tau))], \quad (7)$$

где $m_R(\varphi_1, \tau)$ и $m_R(\varphi_2, \tau)$ – соответствующие математические ожидания случайных величин $R_g(\varphi_1, \tau)$ и $R_g(\varphi_2, \tau)$.

Для абразивного зерна $M[R_g(\varphi, 0)] = r_{g0}$, а износ профиля в направлении радиус-вектора при фиксированных значениях τ и φ является функцией случайной величины $R_g(\varphi, 0)$. Математическое ожидание случайной функции $h_g(\varphi, \tau) = \eta(\rho)$ определяется по плотности вероятностей радиус-вектора $f_R(\rho)$.

$$M[h_g(\varphi, \tau)] = \int_0^\infty \eta(\rho) f_R(\rho) d\rho, \quad (8)$$

где ρ – полярная координата.

Для процессов и углов φ , при которых почти все возможные реализации профилей лежат в слое шероховатости поверхности, зависимость (8) может быть заменена уравнением:

$$M[h_g(\varphi, \tau)] = M\left[R_g(\varphi, 0) + \frac{H - U_R}{\cos\varphi} \right] \psi(\varphi, \tau) = r_{g0} \psi(\varphi, \tau) + \frac{H - U_R}{\cos\varphi} \psi(\varphi, \tau).$$

Окончательно получим

$$M[R_g(\varphi, \tau)] = r_{g0} (1 - \psi(\varphi, \tau)) - \frac{H - U_R}{\cos\varphi} \psi(\varphi, \tau),$$

$$k_R(\varphi_1, \varphi_2, \tau) = k_R(\varphi_1, \varphi_2) \exp\left[\left(-\frac{h_0(V_k \pm V_u)\tau}{H} (\cos\varphi_1 + \cos\varphi_2) \right) \right].$$

Выводы.

В отличие от исходного, профиль изношенного абразивного зерна не является стационарной функцией. Его корреляционная функция зависит не

только от разности значений углов φ_1 и φ_2 , но и от их абсолютных величин. При $\tau = 0$ математическое ожидание и корреляционная функция радиус-вектора $R_g(\varphi, \tau)$ при вычислении по зависимостям (6) и (7) равны математическому ожиданию и корреляционной функции радиус-вектора точек исходного профиля зерна. Таким образом, предложенная математическая модель отражает кинетику изменения профиля формообразующего элемента за период стойкости инструмента.

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В. Анализ разрушения абразивных зерен при шлифовании древесины и древесных материалов // Известия высших учебных заведений «Лесной журнал». №5. Архангельск: АГТУ, 2015, С. 7-15.
2. Зотов Г.А. Станочный дереворежущий инструмент. Практические рекомендации. М.: 2005. 307 с.
3. Сергеевичев А.В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием. Монография. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 136с.

Сведения об авторе

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

Аннотация

Отличием шлифования от других видов механической обработки древесины резанием является отсутствие у абразивных инструментов постоянных, определенных геометрических параметров режущей части шлифовальной шкурки. Приведено описание базового участка рабочей поверхности абразивного инструмента, основанное на определении геометрических размеров, числа и распределении формообразующих элементов.

Ключевые слова: шлифование древесины, износ формообразующих элементов абразивного инструмента.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Математическая модель элемента рабочей поверхности инструмента, определяющего процесс формообразования

Сергеевичев А.В.

При анализе операций обработки заготовок абразивными инструментами предполагают, что вершина зерна, выступающая над уровнем связки, может иметь форму конуса, конуса с закругленной вершиной, конуса с усеченной вершиной, шара [1]. Более совершенной моделью вершины зерна является модель в виде параболоида вращения, рис. 1.

Уравнение параболоида при совмещении начала координат с пиковой точкой профиля записывается:

$$z = \frac{x^2 + y^2}{a^2}, \text{ при } y = 0 \text{ и } a^2 = 2\rho_g \quad x = \sqrt{2\rho_g z},$$

где a – параметр параболоида; ρ_g – радиус округления при вершине зерна, мкм.

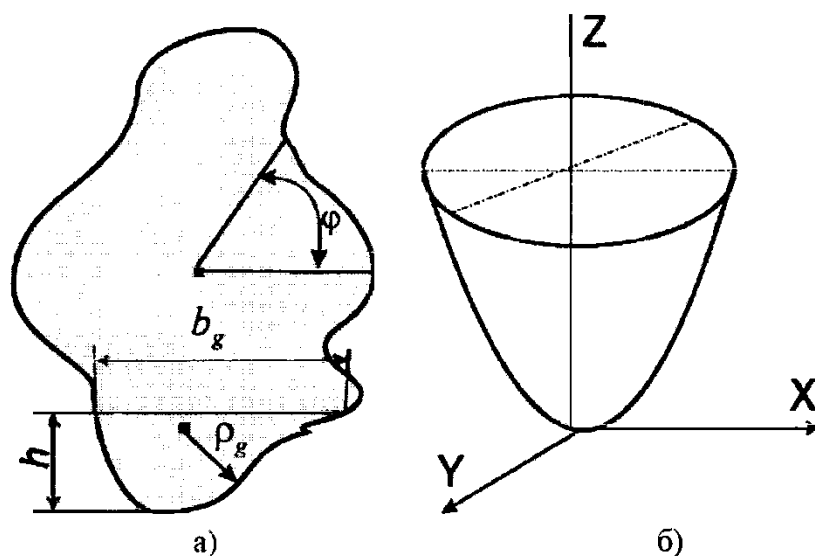


Рис. 1. Модель абразивного зерна:
а. – контур зерна; б. – параболоид вращения

Анализ существующих моделей режущих элементов абразивных зерен, выполненный в работе [2] показывает, что модель в виде параболы является по сравнению с другими более предпочтительной и с высокой степенью точности соответствует экспериментальным геометрическим параметрам абразивных зерен. Если обозначить расстояние от вершины зерна до рассматриваемого уровня за h , то ширина профиля вершины b_g на этом уровне (рис. 1) определится, мкм:

$$b_g = 2\sqrt{2\rho_g h} \quad (1)$$

Учитывая многообразие форм абразивных, алмазных, эльборовых зерен, уравнение (1) записывают в более общем виде:

$$b_g = C_b h^m \quad (2)$$

в котором коэффициент C_b и показатель степени m определяют экспериментально.

Вершина абразивного зерна может рассматриваться в общем его профиле как один из выбросов случайного поля со значениями $R_g(\varphi) > \rho$. Для любой точки профиля абразивного зерна радиус кривизны в полярных координатах вычисляется по уравнению:

$$\rho_g(\tau) = \frac{[R_g^2(\varphi, \tau) + R_g'^2(\varphi, \tau)]^{3/2}}{R_g^2(\varphi, \tau) + 2R_g'(\varphi, \tau)R_g''(\varphi, \tau) - R_g(\varphi, \tau)R_g''(\varphi, \tau)} \quad (3)$$

Радиус кривизны на участках выбросов может значительно отличаться от значения радиуса средней окружности. Аналитическое определение радиуса кривизны приводит к изучению главных кривизн k_1 и k_2 профиля в точках локальных максимумов, превышающих некоторый уровень. Для гауссовой однородной и изотропной случайной поверхности они вычисляются в работе. На практике часто бывает значительно проще непосредственно изучить геометрические параметры вершин формообразующих элементов. По данным многих исследователей [1, 2, 3], радиус при вершине зерна зависит от материала абразивного зерна, способа изготовления, зернистости инструмента. Использование второго подхода при моделировании элементов рабочей поверхности инструмента в ряде случаев является более предпочтительным, так как по геометрии вершин накоплено больше практических данных, чем по геометрии зерен в целом [4].

Текущий радиус округления зависит от его исходного значения, условий контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом, режима резания и времени работы инструмента. С увеличением времени работы инструмента закономерно увеличивается текущий радиус округления, на вершине зерна появляется радиусная площадка износа, наблюдается затупление абразивного зерна.

Экспериментальная проверка закономерностей износа вершин формообразующих элементов выполнена при микрорезании образцов зернами из электрокорунда. Исходную поверхность образцов подготавливали обтачиванием с продольной подачей 0,31 мм/об остро заточенным резцом с углом при вершине 75° . Величина слоя шероховатости исходной поверхности составляла 0,2 мм. Опыты проводили при частоте вращения детали 20,83 Гц, продольной подаче 0,21 мм/об., глубине микрорезания 0,16 мм. В табл. 1

приведено сопоставление расчетных и экспериментальных значений радиуса округления вершины зерна по проходам.

Таблица 1.

Изменение радиуса закругления вершин зерен

№ прохода	Радиус закругления при вершине зерна, мм					
	1-го зерна		2-го зерна		3-го зерна	
	Экспериментальный	Расчетный	Экспериментальный	Расчетный	Экспериментальный	Расчетный
0	1,2	1,20	0,6	0,60	1,0	1,0
1	1,4	1,70	–	–	–	–
2	1,8	1,94	1,1	1.15	1,8	1.9
3	2,2	2,34	–	–	–	–
4	2,8	2,77	2,4	2,15	2,4	3,1

Выводы

Отмечается закономерное увеличение радиуса вершины за счет износа. За один проход он возрастает в 1,2...1,5 раза. Притупление зерна закономерно увеличивается вплоть до его разрушения или вырывания из связки.

Библиографический список

1. Сергеевичев А.В. Формирование поверхности древесины и древесных материалов шлифованием. Монография. СПб.: СПбГЛТУ, 2015. 136с.
2. Торлин В.Н. Финишные операции в гибком автоматизированном производстве. Киев: Техника, 1987. 208 с.
3. Кощев В.Н. Об остроте текущих углов абразивных зерен // Станки и инструменты. М.: Машгиз, 1964. №3. С.27-28.
4. Рыбин Б.М., Санаев В.Г., Кириллов Д.В. Стандартизация шероховатости поверхности древесины и древесных материалов // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. М.: МГУЛ, 2012. №4. С.68-71.

Сведения об авторе

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

Аннотация

Анализ существующих моделей режущих элементов абразивных зерен, показывает, что модель в виде параболы является по сравнению с другими более предпочтительной и с высокой степенью точности соответствует экспериментальным геометрическим параметрам абразивных зерен. В процессе работы абразивного инструмента отмечается закономерное увеличение радиуса вершины зерен за счет износа. Притупление зерна увеличивается вплоть до его разрушения или вырывания из связки.

Ключевые слова: шлифование древесины, математическая модель элемента рабочей поверхности абразивного инструмента.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Моделирование процесса шлифования древесины на основе модели ε -засорения

Сергеевичев А.В.

Одним из известных подходов для учета неоднозначности априорного распределения в байесовских методах оценивания является использование устойчивых, или робастных, методов оценивания [1]. Существует большое количество робастных моделей, но наиболее популярные из них – модели засорения. Основная идея этих моделей заключается в том, что для защиты от ошибки выбора определенного априорного распределения P , предполагаемого как «истинное» распределение, формируется некоторая окрестность (множество распределений) $M(\varepsilon)$, которая содержит все распределения достаточно близкие к распределению P , где ε – мера засорения, которая понимается как доля «засоряющих» распределений. Обычно окрестности являются вложенными, то есть $M(\varepsilon_1) \subseteq M(\varepsilon_2)$, если $\varepsilon_1 \leq \varepsilon_2$. Одной из робастных моделей данного типа является модель ε -засорения, для которой множество $M(\varepsilon)$ образуется распределением вида $(1 - \varepsilon)P + \varepsilon Q$, где Q – произвольное распределение. Другими словами, множество $M(\varepsilon)$ определяется всеми возможными распределениями.

Найдем нижнюю вероятность для нетривиального события $A \subset \Omega$:

$$\underline{P}(A) = \min_Q \{(1 - \varepsilon)P(A) + \varepsilon Q(A)\} = (1 - \varepsilon)P(A) + \varepsilon \min_Q Q(A) \quad (1)$$

Очевидно, что из множества всех возможных распределений Q можно найти такое, что $Q(A) = 0$, если $A \neq \Omega$. Следовательно, нижняя вероятность имеет вид:

$$\underline{P}(A) = (1 - \varepsilon)P(A) \quad (2)$$

Теперь найдем верхнюю вероятность для нетривиального события $A \subset \Omega$:

$$\overline{P}(A) = \max_Q \{(1 - \varepsilon)P(A) + \varepsilon Q(A)\} = (1 - \varepsilon)P(A) + \varepsilon \max_Q Q(A) \quad (3)$$

Очевидно, что из множества всех возможных распределений Q можно найти такое, что $Q(A) = 1$, если $A \neq \emptyset$. Следовательно, верхняя вероятность имеет вид:

$$\overline{P}(A) = (1 - \varepsilon)P(A) + \varepsilon \quad (4)$$

Важным свойством модели ε -засорения является то, что математическое ожидание любой функции $f(X)$ случайной величины X определяется как [2]

$$\mathbb{E}f(X) = (1 - \varepsilon) \sum_i f(x_i) P_i + \varepsilon \sum_i f(x_i) Q_i = (1 - \varepsilon) \mathbb{E}_P f(X) + \varepsilon \mathbb{E}_Q f(X) \quad (5)$$

Тогда можно получить аналогичным образом выражения для нижней и верхней границ математического ожидания функции $f(X)$, минимизируя и максимизируя по всем распределениям Q [3]:

$$\begin{aligned} \underline{\mathbb{E}}_M f(X) &= (1 - \varepsilon) \mathbb{E}_P f(X) + \varepsilon \inf_x f(x) \\ \overline{\mathbb{E}}_M f(X) &= (1 - \varepsilon) \mathbb{E}_P f(X) + \varepsilon \sup_x f(x) \end{aligned} \quad (6)$$

Особый интерес представляет собой связь между обобщенной моделью Дирихле и моделью ε -засорения. Пусть $P(A)$ оценивается как $n(A) / N$, где $n(A)$ – число появлений A в N опытах. В соответствии с моделью ε -засорения, получаем:

$$\underline{P}(A) = \frac{(1 - \varepsilon)n(A)}{N}, \quad \overline{P}(A) = \frac{(1 - \varepsilon)n(A)}{N} + \varepsilon \quad (7)$$

Если взять значение ε в виде $\varepsilon = s/(N + s)$, то мы получим вероятности

$$\underline{P}(A) = \frac{n(A)}{N + s}, \quad \overline{P}(A) = \frac{n(A) + s}{N + s} \quad (8)$$

которые полностью совпадают с вероятностями события A , полученными для обобщенной модели Дирихле. Этот факт говорит о том, что обобщенная модель Дирихле может рассматриваться как один из видов робастных моделей [4].

Модель ε -засорения определяет непараметрический класс априорных распределений.

Выводы

Перечисленные модели являются достаточно эффективным инструментарием для построения робастных моделей формирования поверхности древесины шлифованием. Поэтому предлагается использование этих моделей и их модификаций для построения функции зависимости качества и производительности шлифования от зернистости инструмента в зависимости

от давления прижима и глубины внедрения зерна с учетом того, что количество испытаний или наблюдений чрезвычайно мало.

Библиографический список

1. De Cooman G., Walley P. A possibilistic hierarchical model for behavior under uncertainty // Theory and Decision. 2002. Vol. 52, N 4. Pp.327-374.
2. Utkin L.V., Kozine I.O. Stress-strength reliability models under incomplete information // International Journal of General Systems. 2002. Vol. 31, N 6. Pp.549-568.
3. Walley P. Inferences from multinomial data: Learning about a bag of marbles // Journal of the Royal Statistical Society, Series B. 1996. Vol. 58. Pp. 3-57. With discussion.
4. Utkin L.V., Zhuk Y.A. Robust boosting classification models with local sets of probability distributions. Knowledge-Based Systems. 2014. V. 61. P. 59–75. doi: 10.1016/j.knosys.2014.02.007.

Сведения об авторе

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

Аннотация

Модели и их модификации для построения функции зависимости качества и производительности шлифования от зернистости инструмента в зависимости от давления прижима и глубины внедрения зерна с учетом того, что количество испытаний или наблюдений чрезвычайно мало.

Ключевые слова: шлифование древесины, робастные модели процесса шлифования древесины.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Моделирование процесса шлифования древесины на основе распределения Дирихле и обобщенной модели Уолли

Сергеевичев А.В.

Для описания распределения Дирихле рассмотрим стандартную полиномиальную модель. Пусть $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m\}$ - множество возможных исходов и имеется совокупность N наблюдений, независимо выбранных из Ω с одинаковыми вероятностями каждого исхода $\Pr\{\omega_j\} = \theta_j$ для всех $j = 1, 2, \dots, m$,

где $\theta_j \geq 0$ и $\sum_{j=1}^m \theta_j = 1$. Вероятность того, что из N наблюдений исход ω_j будет наблюдаться N_j раз, определяется из известной формулы полиномиального распределения с параметрами $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$. Однако параметры $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ могут быть сами случайными величинами и иметь некоторое распределение или плотность вероятности $\pi(\theta)$. Одним из наиболее интересных распределений параметров $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$ является распределение Дирихле, которое является согласованным с полиномиальным распределением в том смысле, что априорное и апостериорное распределение являются распределениями Дирихле [1].

Априорное распределение Дирихле (s, t) для случайного вектора вероятностей $\theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$, где $t = (t_1, t_2, \dots, t_m)$, имеет функцию плотности вероятности [2]

$$\pi(\theta) = \Gamma(s) \left(\prod_{j=1}^m \Gamma(st_j) \right)^{-1} \cdot \prod_{j=1}^m \theta_j^{st_j-1} \quad (1)$$

где $t_j \in (0,1)$ – среднее значение (математическое ожидание) вероятности θ_i ; $s > 0$ – параметр, определяющий влияние априорного распределения на апостериорные вероятности; t – вектор, принадлежащий внутренней области единичного симплекса размерности m , который обозначим $S(1, m)$; $\Gamma(\cdot)$ – гамма-функция, удовлетворяющая условиям $\Gamma(x+1) = x\Gamma(x)$ и $\Gamma(1) = 1$.

Необходимо отметить, что переменными распределения Дирихле являются вероятности $\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m$, удовлетворяющие условию $\theta \in S(1, m)$. Это означает, что не только сами события считаются случайными, но и их вероятности.

После получения вектора наблюдений $n = (n_1, n_2, \dots, n_m)$, где n_j – число наблюдений исхода ω_j , умножая априорную плотность на функцию правдоподобия $L(n|\theta)$, получаем апостериорную плотность:

$$p(\theta, n) \propto \pi(\theta)L(n|\theta) = \prod_{j=1}^m \theta_j^{n_j+st_j-1} \quad (2)$$

которая может рассматриваться как плотность распределения Дирихле $(N+s, t^*)$, где $t^* = (t_1^*, t_2^*, \dots, t_m^*)$, $t_j^* = (n_j + st_j) / (N + s)$. Другими словами, распределение Дирихле относится к классу согласованных распределений и при пересчете априорные параметры t преобразуются в t^* . Это очень важное свойство, благодаря которому распределение Дирихле получило широкое распространение в байесовском анализе.

Одним из важнейших свойств распределения Дирихле является то, что его маргинальные распределения также являются распределениями Дирихле с другими параметрами. В частности, если $m = 2$, то распределение Дирихле есть не что иное, как бета-распределение или распределение Дирихле есть обобщение бета-распределения при $m > 2$.

Уолли [3] предложил обобщенную модель распределений Дирихле, которая определяется как множество всех распределений Дирихле с параметрами s и t . Так как вместо одного распределения в обобщенной модели используется множество всех распределений Дирихле, то произвольная оценка вероятностей θ_j может быть получена как интервал с нижней и верхней границей так, что любая точка этого интервала соответствует одному или нескольким распределениям из множества, а нижняя (верхняя) граница интервала вычисляется минимизацией (максимизацией) соответствующей оценки по всем значениям параметров t при ограничении $t \in S(1, m)$. Для обобщенной модели параметр s определяет, как быстро верхняя и нижняя вероятности событий сходятся при накоплении статистических данных. Уолли также определил параметр s как число наблюдений, необходимое для снижения неточности (разность между верхней и нижней границами оценок вероятностей) в два раза. Малые значения параметра приводят к быстрой сходимости верхней и нижней границ вероятности к некоторому точному значению, в то время как большие значения этого параметра приводят к медленной сходимости, но более осторожному выводу [4].

Пусть A – нетривиальное подмножество множества исходов $\Omega = \{\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_m\}$, то есть A не является пустым и $A \neq \Omega$. Пусть $n(A)$ – число появлений A в N опытах, $n(A) = \sum_{\omega_j \in A} n_j$. Тогда вероятность события A , обозначаемая $P(A|n, t, s)$, при условии использования распределения Дирихле может быть найдена как

$$P(A|n, t, s) = \frac{n(A) + st(A)}{N + s} \quad (3)$$

где $t(A) = \sum_{\omega_j \in A} t_j$. Следует отметить, что $P(A|n, t, s) = 0$, если $A = \emptyset$, и $P(A|n, t, s) = 1$, если $A = \Omega$.

Так как вектор параметров t неизвестен, рассмотрим множество M распределений вероятностей, определяемое множеством всех возможных векторов $t \in S(1, m)$. Минимизируя и максимизируя вероятность $P(A|n, t, s)$ по всем $t \in S(1, m)$, получим апостериорные нижнюю и верхнюю границы вероятности события A :

$$\underline{P}(A|n, s) = \frac{n(A)}{N + s}, \quad \bar{P}(A|n, s) = \frac{n(A) + s}{N + s} \quad (4)$$

Очевидно, что перед получением каких-либо наблюдений $n(A) = N = 0$ и, следовательно, $\underline{P}(A|n, s) = 0$ и $\bar{P}(A|n, s) = 1$ для всех нетривиальных событий A . Другими словами, если ничего не известно о поведении случайной величины, то вероятности событий могут быть любыми в пределах от 0 до 1. Это очень важное свойство, так как, используя обобщенную модель Дирихле, нет необходимости выбирать какое-либо определенное априорное

распределение для θ . В противоположность этому, объективный байесовский подход [5] требует для моделирования полного отсутствия сведений или статистики о вероятностях θ для использования одного определенного априорного распределения. Таким образом, обобщенная модель Дирихле может рассматриваться как «подходящий» класс априорных распределений, а не как класс «подходящих» априорных распределений.

Другим важным свойством обобщенной модели Дирихле является ее инвариантность по отношению к множеству возможных исходов, то есть статистический вывод не зависит от размера и содержания пространства элементарных событий [6]. Это связано с тем, что в отличие от объективного байесовского анализа, когда $s = 0$, обобщенная модель Дирихле не предусматривает определения какого-либо конкретного априорного распределения, значения которого зависят от количества возможных исходов. Более того, процедура статистического вывода не зависит от того, насколько полученные статистические данные точны, то есть наблюдения могут быть интервальными, вложенными, перекрывающимися или вообще отсутствующими для некоторых возможных исходов.

Если $s = 0$, то $\underline{P}(A|n, s) = \overline{P}(A|n, s)$, то есть верхняя и нижняя границы вероятности совпадают. Казалось бы, чтобы уменьшить неточность, следует выбрать $s = 0$. Однако это приводит к слишком рискованным выводам. «Размывая» интервал искомой вероятности, мы принимаем более осторожное и правильное решение о вероятности события [7].

Следует отметить, что с увеличением числа испытаний N влияние параметра s уменьшается и при большом количестве опытов (наблюдений) параметр вообще перестает влиять на итоговые результаты. Этот факт говорит о том, что обобщенная модель Дирихле может рассматриваться как один из видов робастных моделей.

Выводы

Перечисленные модели являются достаточно эффективным инструментарием для построения робастных моделей формирования чистой поверхности древесины шлифованием.

Библиографический список

1. De Cooman G., Walley P. A possibilistic hierarchical model for behavior under uncertainty // *Theory and Decision*. 2002. Vol. 52, N 4. Pp.327-374.
2. Utkin L.V., Kozine I.O. Stress-strength reliability models under incomplete information // *International Journal of General Systems*. 2002. Vol. 31, N 6. Pp.549-568.
3. Walley P. Inferences from multinomial data: Learning about a bag of marbles // *Journal of the Royal Statistical Society, Series B*. 1996. Vol. 58. Pp. 3-57. With discussion.

4. Bernard J.M. Non-parametric inference about an unknown mean using the imprecise Dirichlet model // *Imprecise Probabilities and Their Applications*. Proc. of the 2nd Int. Symposium ISIPTTA / Ed. By G. de Cooman, T.L. Fine, T. Seidenfeld. Ithaca, USA: Shaker Publishing, 2001. Pp. 40-50.
5. Bernardo J.M., Smith A.F.M. *Bayesian Theory*. Chichester: Wiley, 1994.
6. Utkin L.V., Zhuk Y.A. Robust boosting classification models with local sets of probability distributions. *Knowledge-Based Systems*. 2014. V. 61. P. 59–75. doi: 10.1016/j.knosys.2014.02.007.
7. Syversveen A.R. *Noninformative Bayesian priors. Interpretation and problems with construction and applications: Preprint Statistics 3 Trondheim*. Department of Math Sciences, NTNU, 1998.

Сведения об авторе

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

Аннотация

Представленные модели являются достаточно эффективным инструментарием для построения робастных моделей формирования чистой поверхности древесины шлифованием.

Ключевые слова: шлифование древесины, робастные модели процесса шлифования древесины.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Регрессионная модель процесса шлифования древесины

Сергеевичев А.В., Сергеевичев В.В.

Для обработки результатов наблюдений и для отбора наиболее значимых параметров, определяющих в наибольшей степени зависимость качества и производительности шлифования от зернистости инструмента в зависимости от давления прижима и линейной нагрузки, необходимо выбрать предпочтительную математическую модель. Для рассматриваемых данных выбор такой модели обусловлен, прежде всего, тем, что количество факторов или признаков p может существенно превышать число наблюдений n [1]. Отсюда следует, что количество параметров модели превышает число наблюдений, и использование нелинейной модели не имеет смысла, так как это приведет к еще большему увеличению параметров и большей чувствительности

к шуму. Поэтому мы рассмотрим оценку параметров и отбор признаков или факторов при помощи линейных регрессионных моделей. Для этого выполним сначала формальную постановку задачи.

Пусть $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$ - вектор наблюдений по зернистости шкурки, т.е., значения степени производительности шлифования поверхности по каждому значению зернистости шкурки, где n – количество наблюдений по анализируемой зернистости. Обозначим набор значений j -го признака по всем давлениям прижима $X_j = (x_{1j}, x_{2j}, \dots, x_{nj})^T, j = 1, \dots, p$. Совокупность этих векторов по всем признаками образует матрицу $X = [X_1, \dots, X_p]$. Также обозначим вектор значений признаков, соответствующих i -му давлению, как $x_i^T = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{ip})$, $i = 1, \dots, n$. Наша цель построить стандартную линейную регрессионную модель:

$$y = x^T \beta + \beta_0 + \varepsilon. \quad (1)$$

где ε – шум, математическое ожидание которого предполагается равным 0; β – вектор неизвестных параметров, определяющих влияние каждого фактора или признака на значение степени производительности шлифования поверхности; β_0 – свободный член.

Без потери общности, предполагается также, что все переменные приведены к следующему виду:

$$\sum_{i=1}^n y_i = 0, \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0, \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 = 1, X_i \in \mathbb{R}^p.$$

Это позволяет в дальнейшем исключить свободный член β_0 из рассмотрения.

Следует отметить, что в общем случае задачу построения регрессионной и классификационной модели можно записать в виде следующей задачи оптимизации [2]:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \{l(Y, X, \beta) + Q_\lambda(\beta)\}, \quad (2)$$

где $l(Y, X, \beta)$ – функция потерь; $Q_\lambda(\beta)$ – штрафное слагаемое.

В настоящее время наиболее популярными и одновременно эффективными регрессионными моделями, осуществляющими обработку данных при условии $p > n$, являются гребневая регрессия [3] и метод Лассо [4]. Обе модели оценивают параметры β на основе минимизации следующей функции потерь $l(Y, X, \beta)$:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} l(Y, X, \beta) = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \|Y - X\beta\|^2. \quad (3)$$

Гребневая регрессия и метод Лассо отличаются только ограничениями на значения вектора β , а именно, ограничения вида

$$\|\beta\|^1 = \sum_{j=1}^p |\beta_j| \leq s, s \geq 0, \quad (4)$$

используются в методе Лассо. Здесь s - величина ограничения, выбираемая в зависимости от конкретной задачи или настраиваемая в результате экспериментов. В гребневой регрессии применяют ограничения вида:

$$\|\beta\|^2 = \sum_{j=1}^p \beta_j^2 \leq s. \quad (5)$$

Двойственная задача записывается как

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \|Y - X\beta\|^2 + \lambda \|\beta\|^t, \quad (6)$$

где $t = 1$ для метода Лассо и $t = 2$ для гребневой регрессии, т.е.

$$Q_\lambda(\beta) = \lambda \|\beta\|^t;$$

λ – неотрицательный параметр регуляризации или сглаживания, характеризующий степень влияния второго слагаемого $\lambda \|\beta\|^t$ в регрессионной модели.

Для улучшения характеристик метода Лассо, коэффициенты регрессии могут быть ограничены по отдельности, путем введения весов $w_j, j = 1, \dots, p$, в двойственной задаче [5]. Тогда

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \|Y - X\beta\|^2 + \lambda \sum_{j=1}^p w_j |\beta_j|. \quad (7)$$

Большие значения веса w_j соответствует более жесткому ограничению для β_j , и наоборот. При определенном способе задания весов, а именно, при $w_j = 1/|\beta_{init,j}|$, где $\beta_{init,j}$ – априорная оценка β_j , полученная, например, методом наименьших квадратов, метод Лассо приобретает целый ряд замечательных свойств, представленных в работе [3]. В этом случае модель называется адаптивным методом Лассо, который заменой переменных

$$\hat{x}_{ij} = x_{ij}/w_j, i = 1, \dots, n, \hat{\beta}_j = \beta_j w_j,$$

может быть переписан в виде стандартного метода Лассо [158]:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \|Y - \hat{X}\hat{\beta}\|^2 + \lambda \sum_{j=1}^p w_j |\hat{\beta}_j|, \quad (8)$$

где $\hat{\beta}$ и \hat{X} – вектор и матрица с элементами $\hat{\beta}_j$ и \hat{x}_{ij} соответственно.

Метод Лассо и гребневая регрессия имеют много интересных свойств, которые делают эти модели достаточно популярными. В то же время, в работе [6] отмечено, что, несмотря на их успешное применение, они имеют некоторые ограничения. В частности, если имеется группа существенно коррелированных

переменных, то метод Лассо выделяет только одну переменную из группы, но не отвечает за то, какая из переменных была выбрана. В отличие от метода Лассо, гребневая регрессия отбирает все коррелированные переменные и делает соответствующие им коэффициенты β_j равными. Для устранения этих крайних ситуаций в работе [7] была предложена промежуточная регрессионная модель, которая называется эластичной сетью (elastic net), и оценка параметров β в соответствии с которой имеет следующий вид:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \|Y - \widehat{X}\widehat{\beta}\|^2 + \lambda_1 \|\widehat{\beta}\|^1 + \lambda_2 \|\widehat{\beta}\|^2. \quad (9)$$

Основная сложность применения эластичной сети заключается в необходимости оптимального подбора параметров λ_1 и λ_2 . Однако, их настройка определяется тем, какое примерное количество ненулевых весов признаков требуется для анализа влияния факторов на зависимость. Поэтому в рассматриваемой задаче будут использоваться в основном метод Лассо. Эластичная сеть будет использоваться в тех случаях, когда метод Лассо выделяет не более одного значимого фактора.

При необходимости решения задачи многоклассовой классификации, рассмотренные модели заменяются моделями логистической регрессии, отличающиеся от рассмотренных выше моделей только функцией потерь $l(Y, X, \beta)$, которая в этом случае принимает вид:

$$l(Y, X, \beta) = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i (\beta_0 + x_i^T \beta) - \log \left(1 + e^{\beta_0 + x_i^T \beta} \right) \right]. \quad (10)$$

Перед тем, как использовать один из возможных методов анализа данных, необходимо ответить на два важных вопроса. Во-первых, какой тип анализа, регрессионный или классификационный, предпочтительнее использовать? Во-вторых, какое штрафное слагаемое следует использовать, т.е. какой метод, эластичную сеть или Лассо, следует применять.

Заметим, что количество степеней повреждаемости является конечным числом, а сами значения степени повреждаемости являются целыми числами. С этой точки зрения на первый взгляд предпочтительнее использовать классификацию. Однако анализ обучающих данных показал, что для большинства качественных характеристик, некоторые значения степени производительности или вовсе не встречаются, или встречаются крайне редко, например, только один раз. Очевидно, что в этом случае, когда множество экземпляров какого-либо класса состоит из одного элемента, применение классификации просто невозможно. Более того, кросс-валидация для настройки параметра λ и для определения качества полученных результатов также не выполнима. Поэтому для обработки результатов наблюдений предпочтительнее использовать регрессионные модели.

Выводы

Основной задачей обработки результатов наблюдений является отбор факторов или признаков, оказывающих наибольшее влияние на изменение степени производительности шлифования. Кроме того, даже поверхностный анализ факторов позволяет утверждать, что многие из них являются коррелированными. С этой точки зрения наиболее предпочтительным является использование метода Лассо, который уже продемонстрировал свою эффективность для решения задачи отбора среди коррелированных признаков или факторов во многих прикладных задачах. В то же время, эксперименты с использованием метода Лассо показали, что при существенно ограниченной обучающей выборке и отсутствии изменений выходной переменной, метод Лассо отбрасывает все факторы как несущественные. В этом случае целесообразно использовать метод эластичной сети и на основе заранее установленного порога для коэффициентов β отбирать наиболее существенные фактор. При этом настройка параметров эластичной сети осуществляется путем перебора всех значений параметров в диапазоне от 0 до 1. Оптимальным является параметр, в соответствии с которым, метод выделяет несколько существенных факторов.

Библиографический список

1. Уткин Л.В. Анализ риска и принятие решений при неполной информации. СПб.: Наука, 2007. 404с.
2. Bouveyron C., Girard S. Robust supervised classification with mixture models: Learning from data with uncertain labels. Pattern Recognition. 2009. V. 42, N 11. P. 2649–2658. doi: 10.1016/j.patcog.2009.03.027.
3. Tibshirani R. Regression shrinkage and selection via the Lasso. Journal of the Royal Statistical Society: Series B. 1996. V. 58. № 1. P. 267–288.
4. Johnson N., Leone F. Statistics and experimental design in engineering and the physical sciences. Vol. 1. Wiley, New York. 1964.
5. Ghaoui L., Lanckriet G., Natsoulis G. Robust classification with interval data. California, University of California, 2003.
6. Zou H. The adaptive Lasso and its oracle properties. Journal of the American Statistical Association. 2006. V. 101. № 476. P. 1418–1429. doi: 10.1198/016214506000000735.
7. Lanckriet G., Ghaoui L., Bhattacharyya C., Jordan M. A robust minimax approach to classification. Journal of Machine Learning Research. 2003. N 3. P. 555–582. doi: 10.1162/153244303321897726.

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	отсутствует
e-mail	910sav@gmail.com

Аннотация

Основной задачей обработки результатов наблюдений является отбор факторов или признаков, оказывающих наибольшее влияние на изменение степени производительности шлифования. Кроме того, даже поверхностный анализ факторов позволяет утверждать, что многие из них являются коррелированными. С этой точки зрения наиболее предпочтительным является использование метода Лассо, который уже продемонстрировал свою эффективность для решения задачи отбора среди коррелированных признаков или факторов во многих прикладных задачах.

Ключевые слова: шлифование древесины, регрессионная модель процесса шлифования древесины.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Робастная модификация регрессионной модели процесса шлифования древесины

Сергеевичев А.В.

Необходимо отметить, что имеющееся количество статистических данных не позволяет в полной мере утверждать, что методы Лассо и эластичной сети дают устойчивые в статистическом смысле результаты. С одной стороны, возможные незначительные изменения исходных данных могут привести к совершенно другим результатам. С другой стороны, ограниченность статистических данных делает полученные результаты слишком неточными, и их использование может привести к значительным ошибкам. Поэтому использование робастных процедур классификации и регрессии, например, процедур, аналогичных тем, что были предложены в работах [1, 2], представляется актуальной задачей для дальнейших исследований.

В диссертационной работе предлагается новая робастная регрессионная модель процесса шлифования древесины, основанная на использовании обобщенной модели ϵ -засорения. Прежде, чем рассматривать новую модель, мы

дадим краткое описание модели ϵ -засорения и робастных моделей, используемых в задачах классификации и регрессии.

Для учета выбросов и различных засорений, было предложено большое количество робастных моделей классификации [1, 2, 3]. Обычно робастность в задачах регрессии и классификации предполагает, что положение (или координата, значение признака) элемента обучающей выборки является неточным и находится в некоторой области, т.е. каждая точка, соответствующая элементу обучающей выборки, может находиться в любом месте внутри эвклидова шара с центром в этой точке. Радиус этого шара является параметром робастности. Принятие решений о том, где находится каждая точка, обычно осуществляется в соответствии с минимаксной стратегией, когда предполагаются «наихудшие», с точки зрения правильной классификации, расположения точек в пределах шаров. Такая модель имеет достаточно наглядную геометрическую интерпретацию.

Главным недостатком таких робастных моделей классификации является необоснованное предположение о возможных изменениях положения точек внутри шаров. Точки обучающей выборки могут определяться неточно в результате неточности измерений, но этот вид неопределенности имеет другую природу и другие способы математического описания. Все имеющиеся наблюдения – это данность. Предположения о том, что они могут быть другими, далеко не всегда обоснованы.

Совсем другое дело, когда мы говорим не о неточности элементов обучающей выборки, а о неточности вероятностей или весов этих элементов. Равные вероятности точек в соответствии с эмпирическим функционалом риска или математического ожидания функции потерь $l(Y, X, \beta)$ – это опять предположение, которое не выполняется, когда количество наблюдений мало или они практически не изменяются, что имеет место для многих наблюдений. Здесь можно обоснованно говорить о том, что предположение о равных вероятностях не является верным и необходимо учитывать возможные отклонения от этих вероятностей. Поэтому при наличии n наблюдений предлагается строить некоторые окрестности не вокруг самих точек, а вокруг вероятностей $1/n$ этих точек при условии, что сумма вероятностей всех точек равна 1. Это приводит к использованию одной из модификаций робастной модели ϵ -засорения [4], когда основное распределение вероятностей является известным (равномерным), а засоряющее распределение может быть произвольным. Такая модель образует множество распределений вероятностей на элементах обучающей выборки [5].

Таким образом, для того чтобы уйти от слишком жестких предположений о вероятности каждой точки обучающей выборки, предлагается новая модель.

Пусть $p=(p_1, \dots, p_n)$ – оценка некоторого распределения вероятностей. Модель ε -засорения образует множество распределений вероятностей $\mathbf{M}(\varepsilon) = \{(1-\varepsilon)p_i + \varepsilon q_i\}$ для каждого фиксированного значения параметра засорения $\varepsilon \in (0,1)$ и распределения p , где q_i – произвольные вероятности, на которые накладывается единственное ограничение $q_1 + \dots + q_n = 1$. Другими словами, $q=(q_1, \dots, q_n)$ – произвольное распределение вероятностей из единичного симплекса.

Перепишем задачу построения регрессии при помощи метода эластичной сети или Лассо в общем виде, как минимизацию математического ожидания функции потерь, где предполагается, что распределение вероятностей всех точек является эмпирическим:

$$R_{\text{emp}}(\boldsymbol{\beta}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n l(Y_i, \mathbf{X}_i, \boldsymbol{\beta}). \quad (1)$$

Предположение об эмпирическом распределении вероятностей означает, что каждая точка имеет вероятность $p_i = 1/n$. Применим для ослабления жесткого условия равенства вероятностей точек модель ε -засорения. В соответствии с этой моделью мы заменяем распределение вероятностей $p=(1/n, \dots, 1/n)$ множеством распределений вероятностей $\mathbf{M}(\varepsilon) = \{(1-\varepsilon)n^{-1} + \varepsilon q_i\}$.

Для построения новой робастной модели регрессии или классификации необходимо определить правило, по которому выбирается некоторое оптимальное распределение из множества $\mathbf{M}(\varepsilon)$ [6]. Один из наиболее известных подходов заключается в выборе наихудшего распределения и называется минимаксной или пессимистической стратегией. Согласно этой стратегии мы выбираем такое распределение вероятностей из $\mathbf{M}(\varepsilon)$, что функционал риска $R(\boldsymbol{\beta})$ достигает максимума для каждого фиксированного набора $\boldsymbol{\beta}$. Следует отметить, что оптимальное распределение вероятностей также зависит от параметров $\boldsymbol{\beta}$.

Пусть $h=(h_1, \dots, h_n)$ – распределение вероятностей из $\mathbf{M}(\varepsilon)$. Тогда робастная стратегия принятия решений определяет функционал риска при фиксированных значениях $\boldsymbol{\beta}$ как

$$\bar{R}(\boldsymbol{\beta}) = \max_{h \in \mathbf{M}(\varepsilon)} R(\boldsymbol{\beta}).$$

Минимаксный функционал риска может быть найден при помощи следующей задачи линейного программирования:

$$\bar{R}(\beta) = \max_{h \in M(\varepsilon)} \sum_{i=1}^n h_i \cdot l(Y_i, X_i, \beta) = \max_{h \in M(\varepsilon)} \sum_{i=1}^n ((1-\varepsilon)n^{-1} + \varepsilon q_i) l(Y_i, X_i, \beta) \quad (2)$$

при ограничениях $0 \leq q_i \leq 1, q_1 + \dots + q_n = 1$.

Полученная задача является линейной с переменными оптимизации q_1, \dots, q_n , но целевая функция зависит от β . Поэтому ее нельзя решить известными численными методами. Однако заметим, что все распределения вероятностей q принадлежат единичному симплексу в пространстве размерности n . Следовательно, оптимальное решение задачи достигается на крайних точках симплекса, число которых равно n , и они имеют простой вид [7]: $(1, 0, \dots, 0), (0, 1, \dots, 0), \dots, (0, 0, \dots, 1)$.

Отсюда следует, что задача максимизации по множеству распределений вероятностей h может быть представлена в виде задачи максимизации по конечному множеству значений индекса s , т.е.

$$\bar{R}(\beta) = \max_{s=1, \dots, n} \left((1-\varepsilon)n^{-1} \sum_{i=1}^n l(Y_i, X_i, \beta) + \varepsilon l(Y_s, X_s, \beta) \right). \quad (3)$$

Полученную задачу можно переписать в следующем виде:

$$\bar{R}(\beta) = \max_{s=1, \dots, n} \left(\frac{1-\varepsilon}{n} \sum_{i=1, i \neq s}^n l(Y_i, X_i, \beta) + \frac{1+\varepsilon(n-1)}{n} l(Y_s, X_s, \beta) \right). \quad (4)$$

Следует отметить, что штрафное слагаемое $Q_\lambda(\beta)$ не рассматривалось в приведенных задачах оптимизации, так как это слагаемое непосредственно не зависит от элементов обучающей выборки и их соответствующих весов или вероятностей. Окончательно задачу вычисления оптимальных параметров β с учетом штрафного слагаемого $Q_\lambda(\beta)$ можно записать как

$$R(\beta) = \max_{s=1, \dots, n} \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \left(\frac{1-\varepsilon}{n} \sum_{i=1, i \neq s}^n l(Y_i, X_i, \beta) + \frac{1+\varepsilon(n-1)}{n} l(Y_s, X_s, \beta) + Q_\lambda(\beta) \right). \quad (5)$$

Таким образом, задача поиска оптимального решения сводится к решению n стандартных задач Лассо или эластичных сетей с заданными весами точек. При этом оптимальным будет являться решение, которое обеспечивает наибольшее значение целевой функции.

Для реализации рассмотренных моделей при построении зависимости поправочных коэффициентов c_k от параметров процесса шлифования древесины необходимо построить стандартную модель следующего вида:

$$c_k = \beta_{0(k)} + \beta_{1(k)}P + \beta_{2(k)}q + \beta_{3(k)}z + \varepsilon, \quad k = 1, \dots, 4 \quad (6)$$

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; P – линейная нагрузка, Н/см; q – давление прижима, кПа; z – зернистость шкурки; β – вектор параметров модели; ε имеет нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и неизвестным средним квадратическим отклонением σ , ($\varepsilon \sim N(0, \sigma)$).

Для определения вектора параметров модели $\beta = (\beta_0, \dots, \beta_3)$, функционал риска находим из следующего выражения:

$$R(\beta) = \sum_{i=1}^{10} (c_k - c_k^*)^2 \quad (7)$$

где $R(\beta)$ – целевая функция или функционал риска; c_k^* определяется из (6), а c_k – на основании экспериментальных данных вычисления поправочных коэффициентов.

Поскольку количество наблюдений ограничено, использование стандартного предположения для регрессионных моделей, заключающихся в равной вероятности всех наблюдений, является неправомерным. В этом случае необходимо использовать робастную модель ε -засорения, формально описанную ранее. При этом значение ε берем от 0 (стандартный случай) до 0,5. Таким образом, в результате построения модели получим функцию $c_k(\varepsilon, z)$.

Имея множество зависимостей поправочных коэффициентов c_k от ε и зернистости шкурки z , построим множество зависимостей производительности процесса шлифования древесины от z и ε на основе моделей ε -засорения, то есть в соответствии с формулой (6), которая была программно реализована на языке R пакета GLMNET, являющимся составной частью языка R.

Для выбора оптимальной зернистости абразивного инструмента необходимо построить функцию зависимости качества поверхности от зернистости шкурки.

В диссертационной работе впервые предлагается использовать объективную оценку качества обработанной поверхности шлифованием, которая определяется как доля принятой продукции к общему объему произведенной продукции при заданных параметрах процесса абразивной обработки древесины.

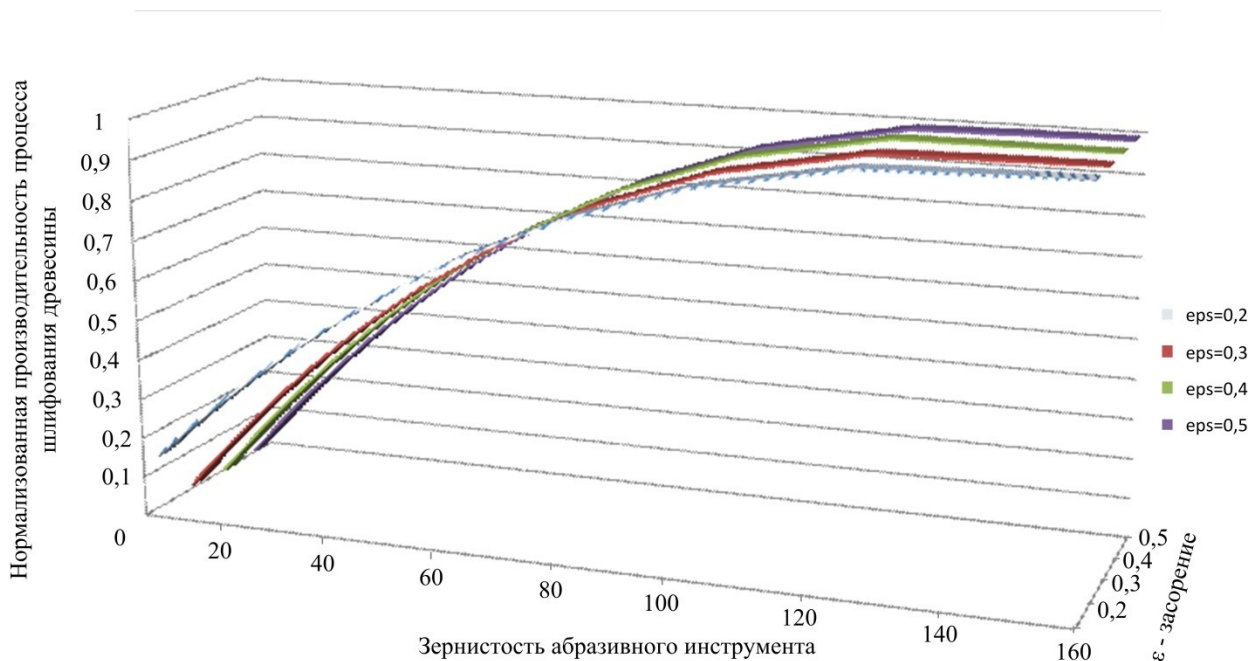


Рис. 1. Зависимость производительности процесса шлифования от зернистости шкурки при различной степени ϵ -засорения

Объективность этого критерия определяется тем, что он рассчитывается статистически и непосредственно не зависит от субъективного мнения одного эксперта. Даже, в том случае, если контролер качества принял неправильное решение об отбраковке изделия (ошибки 1 и 2 рода), это не оказывает влияния на общую характеристику доли принятых изделий, так как она вычисляется исходя из всего объема произведенной продукции. Если объем всей партии изделий невелик (мелкосерийное производство), то можно использовать робастные оценки доли принятой продукции. В данной работе предполагается, что размер выборки более 100 штук изделий, что позволяет использовать стандартные статистические процедуры для вычисления среднего.

Основная идея, лежащая в основе оптимизации выбора зернистости абразивного инструмента, заключается в определении точки пересечения двух кривых: одна из которых – производительность процесса шлифования древесины, а вторая – доля принятой продукции.

В качестве иллюстрации определения оптимальной точки на рис. 2 приведены характеристики нормализованной производительности и доли принятой продукции в зависимости от зернистости абразивного инструмента, полученные в результате проведения экспериментальных исследований.

При анализе рис. 2 можно сделать выводы, что имеют место четыре точки пересечения, соответствующие различным степеням ϵ -засорения. При $\epsilon = 0,5$ получаем гарантированное значение зернистости абразивного инструмента для обеспечения требуемого качества обработанной поверхности изделий из

древесины. Оптимистическое принятие решения соответствует $\varepsilon = 0,2$. В этом случае можно увеличить зернистость абразивного инструмента, при условии обеспечения требуемого качества поверхности изделия.

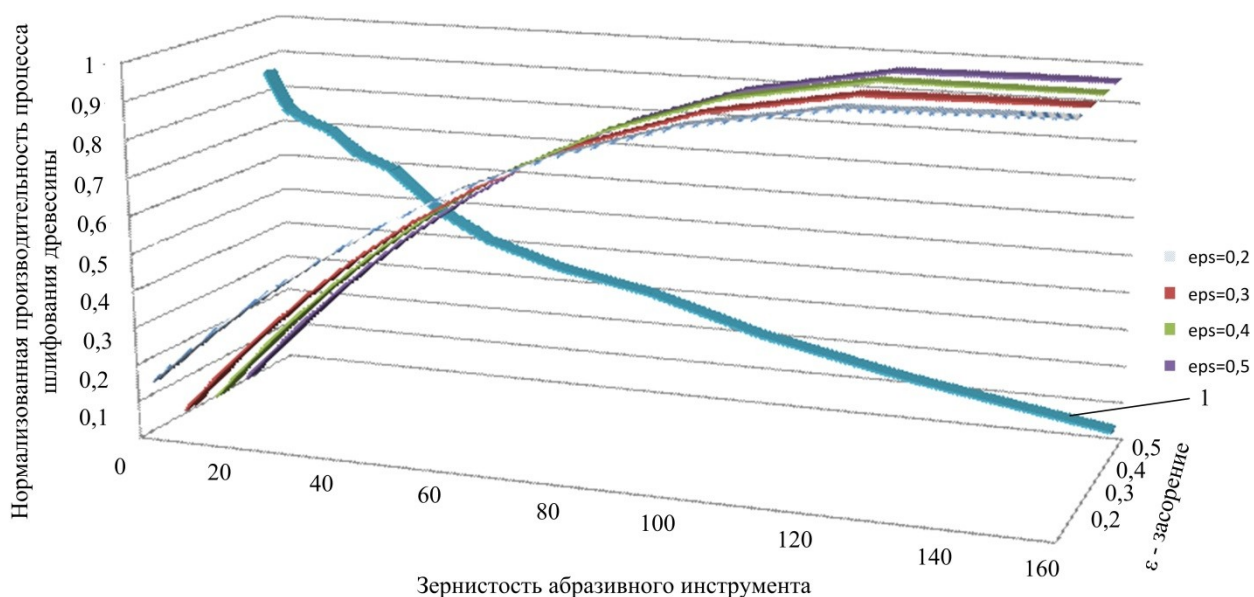


Рис. 2. Зависимость производительности процесса шлифования древесины и доли принятой продукции от зернистости абразивного инструмента

Выводы

При анализе рис. 2 можно сделать выводы, что имеют место четыре точки пересечения, соответствующие различным степеням ε -засорения. При $\varepsilon = 0,5$ получаем гарантированное значение зернистости абразивного инструмента для обеспечения требуемого качества обработанной поверхности изделий из древесины. Оптимистическое принятие решения соответствует $\varepsilon = 0,2$. В этом случае можно увеличить зернистость абразивного инструмента, при условии обеспечения требуемого качества поверхности изделия.

Библиографический список

1. Уткин Л.В. Анализ риска и принятие решений при неполной информации. СПб.: Наука, 2007. 404с.
2. Bouveyron C., Girard S. Robust supervised classification with mixture models: Learning from data with uncertain labels. Pattern Recognition. 2009. V. 42, N 11. P. 2649–2658. doi: 10.1016/j.patcog.2009.03.027.
3. Tibshirani R. Regression shrinkage and selection via the Lasso. Journal of the Royal Statistical Society: Series B. 1996. V. 58. № 1. P. 267–288.
4. Johnson N., Leone F. Statistics and experimental design in engineering and the physical sciences. Vol. 1. Wiley, New York. 1964.
5. Ghaoui L., Lanckriet G., Natsoulis G. Robust classification with interval data. California, University of California, 2003.
6. Zou H. The adaptive Lasso and its oracle properties. Journal of the American Statistical Association. 2006. V. 101. № 476. P. 1418–1429. doi: 10.1198/016214506000000735.

7. Lanckriet G., Ghaoui L., Bhattacharyya C., Jordan M. A robust minimax approach to classification. Journal of Machine Learning Research. 2003. N 3. P. 555–582. doi: 10.1162/153244303321897726.

Сведения об авторе

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

Аннотация

Основная идея, лежащая в основе оптимизации выбора зернистости абразивного инструмента, заключается в определении точки пересечения двух кривых: одна из которых – производительность процесса шлифования древесины, а вторая – доля принятой продукции.

Ключевые слова: шлифование древесины, робастная модификация регрессионная модель процесса шлифования древесины.

УДК 621.941:216.01

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.21

Модели отбора наиболее значимых факторов при исследовании свойств лакокрасочных покрытий

Соколова В.А.

Огромное количество методов и алгоритмов отбора факторов основано на предположении, что множество факторов содержит несущественные и избыточные элементы. Грубо говоря, несущественные факторы не несут какой-либо полезной информации, улучшающей соответствующий классификатор. Избыточные факторы содержат информацию, которая уже имеет место в более информативных факторах. Удаление несущественных и избыточных факторов – это одна из целей задачи отбора факторов.

Три основных подхода используется для отбора факторов. Первый подход, называемый фильтрацией, использует статистические свойства факторов и основан на предположении, что эти свойства различны для различных классов. Если некоторый фактор имеет различные распределения вероятностей для двух классов, то методы фильтрации основаны на определении расстояния между распределениями. В качестве одного из наиболее распространенных

показателей различия факторов или их распределений вероятностей для двух классов служит критерий Фишера:

$$F(i) = \left| \frac{\mu_i^+ - \mu_i^-}{(\sigma_i^+)^2 + (\sigma_i^-)^2} \right|.$$

Здесь μ_i^+ и μ_i^- - средние значения i -го фактора для классов $y = -1$ and $y = +1$; σ_i^+ и σ_i^- - соответствующие среднеквадратические отклонения. Чем больше различие между значениями фактора для двух классов, тем более информативен соответствующий фактор и тем больше значение критерия Фишера. Другими показателями, характеризующими факторы, являются t -статистика, расстояние Кульбака–Лейблера и др.

Второй подход, охватывающий так называемые методы упаковки, во многих случаях обеспечивает более точное решение, чем методы фильтрации, но одновременно требует больших вычислительных ресурсов. Методы упаковки используют метод классификации, например, метод опорных векторов (SVM), для определения, как меняется точность классификации при удалении или добавлении тех или иных факторов. Одним из наиболее популярных методов упаковки является метод рекурсивного удаления факторов (SVM-RFE).

Третий подход использует встроенные методы, которые позволяют отобрать факторы в процессе классификации. Наиболее распространенными встроенными методами являются методы преобразования целевой функции в SVM, например, использование регуляризации в виде единичной нормы $\|\mathbf{w}\|_1 = |w_1| + \dots + |w_m|$ (l_1 -SVM) или нулевой нормы $\|\mathbf{w}\|_0 = |\{i : w_i \neq 0\}|$ (l_0 -SVM) вместо квадратичной.

Одним из наиболее известных методов в рамках третьего подхода является метод Лассо.

Пусть $Y = (y_1, \dots, y_n)^T$ - вектор наблюдений по годам, т.е., значения степени повреждаемости хвойных для каждого вида дерева, где n - количество лет наблюдений по анализируемому виду дерева. Обозначим набор значений j -го фактора по всем годам $X_j = (x_{1j}, \dots, x_{nj})^T$, $j = 1, \dots, p$. Совокупность этих векторов по всем факторам образует матрицу $\mathbf{X} = [X_1, \dots, X_p]$. Также обозначим вектор значений факторов, соответствующих i -му году, как $\mathbf{x}_i^T = (x_{i1}, \dots, x_{ip})$, $i = 1, \dots, n$. Наша цель построить стандартную линейную регрессионную модель:

$$y = \mathbf{x}^T \boldsymbol{\beta} + \beta_0 + \tau.$$

Здесь ε – шум, математическое ожидание которого предполагается равным 0; β – вектор неизвестных параметров, определяющих влияние каждого фактора на значение степени повреждаемости хвойных, β_0 – свободный член.

Без потери общности, предполагается также, что все переменные приведены к следующему виду:

$$\sum_{i=1}^n y_i = 0, \sum_{i=1}^n x_{ij} = 0, \sum_{i=1}^n x_{ij}^2 = 1, X_i \in \mathbb{R}^p.$$

Это позволяет в дальнейшем исключить свободный член β_0 из рассмотрения.

Следует отметить, что в общем случае задачу построения регрессионной и классификационной модели можно записать в виде следующей задачи оптимизации:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \{l(Y, X, \beta) + Q_\lambda(\beta)\},$$

где $l(Y, X, \beta)$ – функция потерь, $Q_\lambda(\beta)$ – штрафное слагаемое.

В настоящее время наиболее популярными и одновременно эффективными регрессионными моделями, осуществляющими обработку данных при условии $p > n$, являются гребневая регрессия и метод Лассо [1]. Обе модели оценивают параметры β на основе минимизации следующей функции потерь $l(Y, X, \beta)$:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} l(Y, X, \beta) = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \|Y - X\beta\|^2.$$

Гребневая регрессия и метод Лассо отличаются только ограничениями на значения вектора β , а именно, ограничения вида:

$$\|\beta\|^1 = \sum_{j=1}^p |\beta_j| \leq s, \quad s \geq 0.$$

Здесь s – величина ограничения, выбираемая в зависимости от конкретной задачи или настраиваемая в результате экспериментов. В гребневой регрессии применяют ограничения вида

$$\|\beta\|^2 = \sum_{j=1}^p \beta_j^2 \leq s.$$

Двойственная задача записывается как:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \|Y - X\beta\|^2 + \lambda \|\beta\|^t,$$

где $t=1$ для метода Лассо и $t=2$ для гребневой регрессии, т.е. $Q_\lambda(\beta) = \lambda \|\beta\|^t$; λ – неотрицательный параметр регуляризации или сглаживания, характеризующий степень влияния второго слагаемого $\lambda \|\beta\|^t$ в регрессионной модели.

Для улучшения характеристик метода Лассо, коэффициенты регрессии могут быть ограничены по отдельности, путем введения весов $w_j > 0$, $j = 1, \dots, p$, в двойственной задаче. Тогда:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \|Y - X\beta\|^2 + \lambda \sum_{j=1}^p w_j |\beta_j|.$$

Большие значения веса w_j соответствует более жесткому ограничению для β_j , и наоборот [2].

При определенном способе задания весов, а именно, при $w_j = 1/|\beta_{init,j}|$, где $\beta_{init,j}$ – априорная оценка β_j , полученная, например, методом наименьших квадратов, метод Лассо приобретает целый ряд замечательных свойств, представленных в работе [3]. В этом случае модель называется адаптивным методом Лассо, который заменой переменных

$$\tilde{x}_{ij} = x_{ij} / w_j, \quad i = 1, \dots, n, \quad \tilde{\beta}_j = \beta_j w_j,$$

может быть переписано в виде стандартного метода Лассо [4]:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \|Y - X\tilde{\beta}\|^2 + \lambda \sum_{j=1}^p |\tilde{\beta}_j|,$$

где $\tilde{\beta}$ и X – вектор и матрица с элементами $\tilde{\beta}_j$ и \tilde{x}_{ij} соответственно.

Метод Лассо и гребневая регрессия имеют много интересных свойств, которые делают эти модели достаточно популярной. В то же время, в работе [5] отмечено, что, несмотря на их успешное применение, они имеют некоторые ограничения. В частности, если имеется группа существенно коррелированных переменных, то метод Лассо выделяет только одну переменную из группы, но не отвечает за то, какая из переменных была выбрана. В отличие от метода Лассо, гребневая регрессия отбирает все коррелированные переменные и делает соответствующие им коэффициенты β_j равными. Для устранения этих крайних ситуаций в работе [5] была предложена промежуточная регрессионная модель, которая называется эластичной сетью, и оценка параметров β в соответствии с которой имеет следующий вид:

$$\beta = \arg \min_{\beta \in \mathbb{R}^p} \|Y - X\tilde{\beta}\|^2 + \lambda_1 \|\tilde{\beta}\|^r + \lambda_2 \|\tilde{\beta}\|^2.$$

Основная сложность применения эластичной сети заключается в необходимости оптимального подбора параметров λ_1 и λ_2 .

При необходимости решения задачи многоклассовой классификации, рассмотренные модели заменяются моделями логистической регрессии,

которые отличаются от рассмотренных выше моделей только функцией потерь $l(Y, \mathbf{X}, \boldsymbol{\beta})$, которая в этом случае принимает вид:

$$l(Y, \mathbf{X}, \boldsymbol{\beta}) = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i (\beta_0 + \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta}) - \log \left(1 + e^{(\beta_0 + \mathbf{x}_i^T \boldsymbol{\beta})} \right) \right].$$

Специальный выбор штрафного слагаемого на основе некоторой априорной информации о значимых факторах и об используемой модели отбора факторов может привести к целому ряду полезных свойств моделей регрессии или классификации, соответствующих методу Лассо. Так авторы работы [6] попытались применить наблюдаемый факт, что существует структура естественного группирования в значимые факторы и сами группы также коррелируют. Опираясь на эти наблюдения, авторы [6] предложили новый метод определения штрафного слагаемого для отбора групп переменных, которые могут обеспечивать корреляцию между соседними группами. Этот метод, называемый сглаженным групповым Лассо, основан на комбинации специальным образом установленного штрафного слагаемого и квадратичного штрафного слагаемого в соответствии с различием регрессионных коэффициентов в соседних группах. Авторы работы [6] предположили, что значимые факторы разделены на J групп каждая из которых имеет размер d_j , $j=1, \dots, J$, определяемый в соответствии физическим расположением группы. В результате вектор коэффициентов $\boldsymbol{\beta} = (\boldsymbol{\beta}_1, \dots, \boldsymbol{\beta}_J)$ определяется для групп значимых факторов, но не для отдельных значимых факторов, $\boldsymbol{\beta}_j$ – вектор коэффициентов, соответствующий значимому фактору из j -ой группы. Авторы использовали квадратичную функцию потерь вида:

$$l(\boldsymbol{\beta}) = \left\| Y - \sum_{j=1}^J \mathbf{X}_j \boldsymbol{\beta}_j \right\|^2.$$

Здесь \mathbf{X}_j - матрица размерности $n \times d_j$, соответствующая j -ой группе. Предлагаемый метод использует следующую функцию штрафа:

$$Q_{\lambda_1, \lambda_2}(\boldsymbol{\beta}) = \sum_{j=1}^J \lambda_1 \sqrt{d_j} \|\boldsymbol{\beta}_j\|_{\Sigma_j} + \frac{\lambda_2}{2} \sum_{j=1}^{J-1} \zeta_j d \left\{ \frac{\|\boldsymbol{\beta}_j\|_{\Sigma_j}}{\sqrt{d_j}} - \frac{\|\boldsymbol{\beta}_{j+1}\|_{\Sigma_{j+1}}}{\sqrt{d_{j+1}}} \right\}.$$

Здесь $\|\boldsymbol{\beta}_j\|_{\Sigma_j} = (\boldsymbol{\beta}_j^T \Sigma_j \boldsymbol{\beta}_j)^{1/2}$, $\Sigma_j = \mathbf{X}_j^T \mathbf{X}_j / n$, - эмпирическая ковариационная матрица для j -ой группы; $\lambda_1 > 0$ и $\lambda_2 > 0$ - зависящие от данных параметры настройки, вес ζ_j является мерой корреляции между j -ой и $(j+1)$ -ой группой; $d = \max\{d_j : j=1, \dots, J\}$ – наибольший размер группы. Параметр d используется для нормирования разности квадратов двух норм таким образом, что λ_2 может

быть одного масштаба с λ_1 . Детальное описание штрафной функции и ее параметров можно найти в работе [6]. Существует две основные сложности использования приведенного выше метода. Во-первых, он достаточно сложен с вычислительной точки зрения. Во-вторых, необходимо априори знать структуру группирования значимых факторов.

Интересный подход для учета корреляций между переменными был предложен в работе [7]. Подход использует корреляцию между переменными в явном виде в штрафном слагаемом. Коэффициенты β_i и β_j , которые соответствуют парам переменным с номерами i и j , умножаются специальным образом на коэффициенты, зависящие от эмпирического коэффициента корреляции ρ_{ij} . Штрафное слагаемое в этом случае имеет следующий вид:

$$Q_\lambda(\beta) = \lambda \sum_{i=1}^{p-1} \sum_{j>i} \left\{ \frac{(\beta_i - \beta_j)^2}{1 - \rho_{ij}} + \frac{(\beta_i + \beta_j)^2}{1 + \rho_{ij}} \right\}.$$

Здесь ρ_{ij} - эмпирический коэффициент корреляции между i -ой и j -ой переменной. Если имеет место положительная корреляция, т.е. $\rho_{ij} \rightarrow 1$, то доминирует первое слагаемое под знаком суммы в выражении для штрафной функции. Когда $\rho_{ij} \rightarrow -1$, доминирует второе слагаемое. Оба эти случая приводят к приближенному равенству $\beta_i \approx \beta_j$. В случае некоррелированных переменных $\rho_{ij} \rightarrow 0$ и соответствующая модель сводится к гребневой регрессии.

Для того чтобы учесть различные вероятности значений факторов, в частности, для учета вероятности аллелей π авторы работы [8] предложили использовать веса w в штрафном параметре, которые назначаются в соответствии с выражением $w = 2\sqrt{\pi(1-\pi)}$, аргументируя это тем, что меньшие штрафы следует приписывать более редким вариантам.

Заключение.

Рассмотренные выше модификации метода Лассо являются эффективным инструментом для решения задачи отбора значимых факторов и поиска регрессионной модели. Их эффективность была экспериментально доказана. Следуя идеям, предложенным в работах [2, 7, 8], и развивая их, мы сможем определить новые веса в штрафном слагаемом в методе Лассо. Основная идея, положенная в основу их определения, состоит в определении среднего вклада каждого значимого фактора в математическое ожидание значений результатов исследований адгезии, теплостойкости и водостойкости. Эти вклады являются ничем иным, как весами в адаптивном методе Лассо. Они должны учитывать вероятности аллелей, корреляции между значимым фактором и значениями результатов исследований адгезии, теплостойкости и водостойкости.

Библиографический список

1. R. Tibshirani. Regression shrinkage and selection via the Lasso. Journal of the Royal Statistical Society. Series B (Methodological), 58(1):267–288, 1996.
2. H. Zhou, D.H. Alexander, M.E. Sehl, J.S. Sinsheimer, and K. Lange. Penalized regression for genome-wide association screening of sequence data. In Pacific Symposium on Biocomputing, pages 106–117. World Scientific Publishing, 2011.
3. H. Zou. The adaptive Lasso and its oracle properties. Journal of the American Statistical Association, 101(476):1418–1429, 2006.
4. P. Buhlmann and S. van de Geer. Statistics for High-Dimensional Data: Methods, Theory and Applications. Springer Series in Statistics. Springer, Berlin Heidelberg, 2011.
5. H. Zou and T. Hastie. Regularization and variable selection via the elastic net. Journal of the Royal Statistical Society: Series B (Statistical Methodology), 67(2):301–320, 2005.
6. J. Liu, J. Huang, S. Ma, and K. Wang. Incorporating group correlations in genome-wide association studies using smoothed group LASSO. Biostatistics, 14(2):205–219, 2013.
7. G. Tutz and J. Ulbricht. Penalized regression with correlation-based penalty. Statistics and Computing, 19(3):239–253, 2009.
8. B.E. Madsen and S.R. Browning. A groupwise association test for rare mutations using a weighted sum statistic. PLoS genetics, 5(2):e1000384, 2009.

Сведения об авторах

ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	Sokolova_vika@inbox.ru

Аннотация

Рассмотрены три основных подхода для отбора факторов. Рассмотрены модификации метода Лассо. Приведен обзор применения метода Лассо и гребневой регрессии, рассмотрены их свойства.

Ключевые слова: фактор, модель, покрытие, веса.

УДК 519.2; 674

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.29.25, 27.43.51

Анализ использования процессов пропитки в технологии производства древесного угля

**Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л.,
Соколова В.А., Бирман А.Р., Кретинин В.И.**

Введение

Перед лесопромышленным комплексом остро стоит задача расширения объемов переработки древесины мягких лиственных пород. Одним из

направлений ее решения является модификация такой древесины путем уплотнения в условиях лесопромышленных складов и возможные варианты ее решения является – это термохимическая переработка. Основным продуктом этой переработки – древесный уголь, который может служить основой для получения таких уникальных по своим свойствам ненапористых продуктов как углеродные монообменники, активированный уголь, эффективные сорбенты и т.п. продукция [12, 18].

В настоящее время исследование древесины и древесных материалов – крупный самостоятельный раздел науки.

Цели и задачи

Опираясь на данные предварительного анализа, которые позволяют утверждать о пригодности древесины осины для производства качественного древесного угля и древесноугольных материалов [1, 7]. Исследуем способы подготовки древесного сырья путем его модификации, переработки древесины и древесного угля с целью получения конечного продукта в виде сорбентов для очистки водных сред от ионов тяжелых металлов и органических включений, устанавливаем закономерности и уравнения связи для расчета технологических режимов обработки и устанавливаем показатели свойств новых материалов [10].

Методика исследования

Классификация существующих способов пропитки капиллярно-пористой структуры (КПС) основана на трех основных физических явлениях, происходящих при пропитке [2, 8]: перемещение жидкости под действием капиллярных сил, диффузное перемещение молекул или ионов пропитываемого вещества; перемещение жидкости под действием внешнего избыточного давления.

Под теоретической моделью капиллярно-пористой структуры (КПС) понимают воображаемое тело, состоящее из системы гипотетических капилляров, эквивалентное в отношении тех или иных свойств (гидродинамических, капиллярных и других) исследуемому пористому телу [2, 9].

Простейшая капиллярная модель представляет собой систему параллельных прямых трубок одинакового радиуса и одинаковой длины, равной длине рассматриваемого тела, в направлении потока движущейся сквозь него жидкости [11].

Результаты и обсуждение исследований

Взаимосвязь структуры древесины и древесного угля можно увидеть с помощью электронной микроскопии. Микрофотограммы образцов древесного угля и древесины показывают, что в угле сохраняются основные анатомические

компоненты древесины: сосуды, годовичные кольца, волокна, сердцевинные лучи, рис. 1.



Рис. 1. Микрофотограммы поперечного среза (увеличение в 200 раз):
а – древесина березовая б – уголь из древесины березовой

Пористость древесных углей не находится в прямой зависимости от их прочности. Более пористый древесный уголь может быть более прочным, чем менее пористый, если стенки клеток прочны. Прочность же стенок клеток угля сильно возрастает с повышением температуры прокаливания угля при увеличении его пористости [14]. Отношение между порами и плотной массой древесных углей зависит от толщины стенок клеток, благодаря чему это отношение бывает различно не только для разных пород, но даже для одной и той же породы [1, 13]. Отношение объема пор ко всему объему древесного угля для осинового угля в среднем составляет 0,72 [17].

Общая пористость не является постоянной величиной и кроме качества и породы древесины, а также способа получения угля, зависит еще от гранулометрического состава угля. Так, при измельчении угля от размеров куска 2х2х4 см до размеров зерен 0,3 см общая пористость его уменьшается на 7...10%, что происходит за счет исчезновения крупных пор и трещин при измельчении угля [15]. Это положение является важным для настоящей работы, так как она связана с анализом сорбционной способности кускового активированного угля и возможностью его регенерации, практически неосуществимой при использовании порошкообразных сорбентов.

Для получения сорбентов на базе окисленных углей необходимо ввести жидкий окислитель (в данном исследуемом варианте) в поровое пространство угля-сырца методом пропитки [16].

Использование чисто капиллярного давления без давления внешнего по нашему мнению технологически затруднено при производстве окисленных углей. Особенно порошкообразной фракции значительного объема и применении окислителей, например, пероксида. Полная сквозная пропитка в этом случае является длительным не технологичным процессом без фиксированных временных границ [5, 6].

Диффузионная пропитка технически осуществляется кратковременным или длительным погружением КПС в ванны с последующей выдержкой. Диффузия в чистом виде определяется законом Фика [2, 4].

$$i = D \cdot \frac{dk}{dx}, \quad (1)$$

где i – плотность потока диффундирующих молекул; D – коэффициент диффузии; k – концентрация вещества в растворе; x – длина пути направления диффузии.

Как и капиллярная, полная диффузионная пропитка не имеет фиксированных временных границ, но, при наличии достаточного экспериментального опыта и накоплении предприятием надежных статистических данных, может быть использована для сквозной равномерной пропитки [3, 14].

Пропитка центробежным способом основывается на взаимодействии находящихся в поле центробежных сил пропитывающей жидкости и капиллярно-пористой структуры, например, древесины или древесного угля. При использовании центробежного способа значительно сокращается продолжительность пропитки [2, 3]. Эффективность данного способа обусловлена тем, что удаление влаги происходит за счет градиента давления, возникающего в материале, помещенном в центробежном поле. Это же положение относится к процессу пропитки [2, 3].

Параметром, определяющим процесс пропитки, принято считать линейную скорость торца материала, или параметр пропитки h :

$$h = \omega^2 \cdot R^2, \quad (2)$$

где ω – частота вращения; R – радиус дальнего торца материала.

При высокой эффективности сушки древесины центробежным способом очевидна привлекательность применения этого метода для пропитки древесины (замещение пропитывающим составом свободных воздуха или влаги, находящихся древесине) [2, 8].

Заключение и выводы

Интенсификация процессов пропитки за счет центробежной нагрузки изучены в основном для древесины, а для древесного угля в этой области проведено недостаточно исследований. Поэтому необходимы дальнейшие исследования в направлении математического моделирования как процессов уплотнения древесины, используемой для пиролиза, так и процессов пропитки древесного угля водорастворимыми веществами.

Таким образом, исследования процесса пропитки не нашли своего окончательного завершения и продолжение работы в этом направлении является актуальной задачей.

Библиографический список

1. Беспалова В.В., Грязькин А.В., Беляева Н.В., Кривоногова А.С. Проблемы и основные направления развития лесной отрасли // Экономика и эффективность организации производства. №30. – Брянск: БГИТА, 2019. – С. 13-16.
2. Бирман А.Р., Кривоногова А.С. Использование методов пропитки длинномерных сортиментов сырья // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2015 №1 – Нижневартковск: НВГУ, 2015. – 94 с. С. 45-48.
3. Бирман А.Р., Кривоногова А.С. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях ландшафтной архитектуры // Актуальные графические технологии. Выпуск I: Современные и традиционные изобразительные средства в ландшафтном проектировании - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.
4. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан Технологическое устройство для пропитки капиллярно-пористых тел // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2017. – 166 с. С. 99-101.
5. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А. Определение коэффициента фильтрации и параметров процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – 427 с. С. 238-243.
6. Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Кривоногова А.С., Тоан Нгуен Ван Критический анализ использования способов пропитки с целью повышения качественных характеристик древесного сырья // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2016. – 159 с. С. 58-60.
7. Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Пропитка древесины гидростатическим способом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сборник науч. труд. по материал. заоч. НПК, 2014 г. №5 ч. 4 (10-4). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – 410 с. С. 33-38.
8. Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Торцовая пропитка длинномерных сортиментов // Научное обозрение. 2014 № 7 – М.: «Буква», 2014. – 504 с. С. 281-285.
9. Борирование древесины пропиткой с целью повышения ее нейтронозащитных свойств / А.Р. Бирман, В.А. Соколова, А.С. Кривоногова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып. 208. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 277 с. С. 130-138.
10. Кривоногова А.С., Бирман А.Р. Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 314-320.
11. Кривоногова А.С., Бирман А.Р. Пропитка капиллярно-пористых структур встречно-центробежным способом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник трудов по материалам международной заочной НПК, 2015. - № 2, ч.1 (13-1). Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2015. – 487 с. С. 236-240.
12. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Беспалова В.В. Анализ движения жидкости в капиллярно-пористых структурах в контексте улучшения механических показателей конструкционных материалов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы IV НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449с. С. 361-363.
13. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан, Белоногова Н.А. Моделирование процесса пропитки капиллярно-пористых структур в производстве древесно-угольных сорбентов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 224с. С. 204-205.

14. Кривоногова А.С. Математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами пероксида // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – 427 с. С. 251-256.
15. Кривоногова А.С. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.
16. Кривоногова А.С, Nguen V.T., Соколова В.А., Бирман А.Р., Беспалова В.В. Теоретическое обоснование процесса движения жидкости в капиллярно-пористых средах в контексте повышения прочностных характеристик материала // Системы Методы Технологии. Выпуск 3 (39) – Братск: БрГУ», 2018 г. – 164 с. С. 130-135.
17. Соколова В. А., Бирман А.Р., Орлов В.В., Теппоев А.В., Кривоногова А.С., Бачериков И.В., Парфенопуло Г.К. Использование железо-водных и дерево-железных смесей в защите от ионизирующих излучений // Системы Методы Технологии. Выпуск 1 (37), Братск: ФГБОУ ВО «БрГУ», 2018 г. – 164 с., С. 94-99.
18. Соколова В.А., Кривоногова А.С., Иванов А.М., Марков В.А., Парфенопуло Г.К. Пути улучшения качества продукции на деревообрабатывающем предприятии // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 50-55.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код 5633-1797
e-mail pushkov_yura@mail.ru

ФИО Соколова В.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 5116-5102
e-mail sokolova_vika@inbox.ru

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

Аннотация

В данной статье рассматриваются методики проведения экспериментов по пропитке капиллярно-пористых структур. Проведен критический анализ способов пропитки капиллярно-пористых структур.

Ключевые слова: древесина, капиллярно-пористые структуры, пропитка в поле центробежных сил.

УДК 630*867.5

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99; 66.03.00

Влияющие методы гидростатического давления пропиточной жидкости на повышение технических характеристик лесоматериалов

Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Гутлыев А.

Введение

Наиболее эффективным способом повышения стойкости древесины является защитная обработка пропиткой.

Цели и задачи

Ограничим рамки освещаемого вопроса в границах области применения. Рассматриваем использование возможностей процессов защитной пропитки древесины жидкостями для повышения качественных характеристик,

повышения стойкости от агрессивных воздействий длинномерных сортиментов, используемых как опоры вертикальных несущих конструктивных элементов, применяемых в монтаже различных промышленных, сельскохозяйственных, энергетических, транспортных зданий и сооружений, инженерных конструкций коммуникационной функциональности, где монтируемые узлы соединения конструкций, как правило, погружены на часть своей высоты нижней частью в конструкцию заделки с агрессивными разрушающими воздействиями [7, 10]. В контексте области применения рассматриваем и анализируем известные способы пропитки с целью выявления наиболее рационального и эффективного применения, также экономически выгодного, в соответствии с тяжелым экономическим современным положением.

Методика исследования

В качестве пропиточных материалов используют жидкие масла и растворы различных веществ в воде или органических растворителях [9]. Процесс пропитки в большинстве случаев является чисто физическим, так как пропиточные жидкости не вступают в химическую реакцию с древесиной [5]. Проникновение пропиточного раствора в древесину происходит в результате действия сил различной физической природы: капиллярных, центробежных, диффузионных, электростатических сил, сил давления и пр. [11].

Проанализировав технологические процессы способов пропитки, получаем некоторые результаты, которые выявляют достоинства и недостатки тех или иных процессов пропитки по преобладающему воздействию физических сил в границах нашей области применения для длинномерных сортиментов как элементов вертикальных конструктивных элементов [6, 8, 13].

Пропитка происходит в условиях преобладающего воздействия каждого вида сил, поэтому способы пропитки подразделяют по преобладающему виду воздействия этих сил [15, 17].

Результаты и обсуждение исследований

Анализируя известные способы пропитки древесины можно отметить, что способы капиллярной и диффузионной пропитки малопродуктивны из-за длительности процесса, достигающей нескольких месяцев. А так же во многих случаях малоэффективны из-за незначительной глубины проникновения (несколько миллиметров) пропиточных жидкостей в древесину.

Недостатками пропитки за счет электростатических сил являются значительная энергоемкость процесса и техническая сложность его осуществления [12].

Поэтому на практике, в основном, осуществляют пропитку под давлением, используя автоклавный метод и метод, основанный на проникновении пропиточной жидкости в древесину под давлением центробежных сил [1].

Недостатками способов автоклавной пропитки являются: большая продолжительность процесса и неравномерность распределения пропитывающего состава; наибольшее содержание пропитывающего состава в поверхностной области древесины [16]; эффект «защемления воздуха» в центральных областях древесины, что обусловлено одновременным поступлением пропитывающей жидкости под давлением с наружной поверхности к центру пропитываемого материала. Кроме этого, автоклавы для пропитки длинномерных сортиментов сложны в изготовлении, обслуживании и материалоемки [2].

Способ пропитки в центробежном поле обычно осуществляется встречно-центробежным способом [3]. При этом способе на вращающейся платформе центрифуги помещается мягкость с пропитывающей жидкостью, в мкость загружают древесину, ориентируя е продольными волокнами радиально относительно плоскости вращения [14].

Недостатками способа пропитки в центробежном поле являются:

- техническая сложность осуществления способа (изготовление центрифуги, большие габариты и масса рабочей платформы);
- трудоемкость и неудобство загрузки-разгрузки пропитываемых материалов, особенно длинномерных;
- необходимость контроля и периодического дозированного пополнения
- уровня пропитывающей жидкости;
- высокая стоимость оборудования;
- высокая энергоемкость процесса пропитки, обусловленная необходимостью обеспечения вращения и периодических остановок (для загрузки-разгрузки) платформы с массой в десятки тонн;
- малая производительность, обусловленная ограниченными габаритами платформ центрифуг [4].

В данном исследовании предлагается способ пропитки древесины под давлением, исключаяющий вышперечисленные недостатки известных способов пропитки длинномерных сортиментов. Способ в наибольшей степени рекомендуется для сортиментов, используемых в виде вертикальных опор, нижняя часть которых подвергается интенсивному разрушающему воздействию среды размещения (опоры линий электропередач, сваи, заглубленные в грунт или бетон и т.д.). Отметим, что защитная пропитка всего объема сортиментов указанного назначения нецелесообразна. Тогда как их рабочая зона, заглубленная в агрессивную среду, должна иметь максимальное

насыщение защитным раствором, причем по всему объему площади поперечного сечения [18]. И с целью повышения производительности, пропитку желательнее производить групповым способом, что позволяет рассматриваемый предлагаемый технологический процесс пропитки.

Предлагаемый способ включает известные операции размещения сортиментов в пропиточной жидкости с последующей их выгрузкой. Способ отличается тем, что вначале бревна пачкой (или поштучно), ориентируя комлевой частью вниз, загружают в клеть, конструкция которой обеспечивает свободный доступ жидкости к древесине. Затем клеть поднимают над сборочной площадкой, например, краном, фиксируют массу груза, например, динамометром, установленном на грузозахватном приспособлении крана, и опускают на дно емкости с пропитывающей жидкостью. Объема жидкости должно быть достаточно для погружения клетки, с обеспечением нахождения верхних торцов сортиментов над поверхностью жидкости [5, 13].

Пачку выдерживают до достижения пропиточной жидкостью заданной высоты, измеряемой от нижнего торца сортиментов. Пропитка, которая осуществляется за счет движения жидкости через бревна снизу вверх под воздействием разности гидростатического давления на дне емкости и у верхнего торца вертикально расположенных сортиментов [17].

Отметим, что чем длиннее сортименты, а значит и высота жидкости в пропиточной ванне, тем больше величина гидростатического давления на дне емкости, и тем интенсивнее идет процесс пропитки. Так, например, при пропитке сортиментов длиной 10 м (телеграфные столбы) разность давления на дне ванны и атмосферного давления (на верхнем уровне пропиточной жидкости) составляет 0,1 МПа. Вес клетки должен быть таким, чтобы удельный вес суммарного груза (клетки с бревнами) был больше удельного веса пропитывающей жидкости [3].

Размещение бревен в клетке комлевыми торцами вниз обеспечивает ускорение процесса пропитки, так как пористость древесины увеличивается для большинства пород от комля к вершине. А значит, увеличивается и коэффициент фильтрации.

Устройство работает следующим образом. Бревна загружают в клетку, установленную на сборочной площадке [12]. Затем клетку канатом, соединенным с грузозахватным приспособлением крана поднимают над уровнем земли и динамометром фиксируют суммарный вес клетки и бревен. Затем клетку с бревнами опускают на дно емкости, заполненной пропиточной жидкостью (например, антисептиком) и осуществляют процесс пропитки [9].

Завершив пропитку, клетку с бревнами вынимают из емкости краном, дают стечь пропиточной жидкости с поверхности бревен и вторично фиксируют вес

клетки с бревнами динамометром, определяя достаточную степень пропитки. Затем подают клетку к месту разгрузки пропитанных бревен, производят разгрузку и процесс повторяется [15].

Пропиточная емкость может быть выполнена как в виде заглубленного бассейна, так и в виде емкости, основание которой размещено на уровне земли.

Степень пропитки можно определять (как вариант) не весовым методом (динамометром), и по снижению уровня жидкости в период пропитки. Продолжительность пропитки для различных сортиментов устанавливают эмпирически, используя, например, подкрашенные пропиточные жидкости. Пропитку прекращают при насыщении антисептиком рабочей части опор [1, 3].

Аналитическое определение времени пропитки сортиментов на определенную их длину, измеренную от нижних торцов, возможно, осуществлять, построив математическую модель процесса. При этом считаем, что пронизываемое пространство водопроводящих путей древесины является капиллярно-пористой средой [14].

Предлагаемое техническое решение обеспечивает: снижение энергоемкости процесса пропитки за счет исключения затрат на создание давления в пропитываемой жидкости; достижение равномерности пропитки по поперечному сечению древесины путем обеспечения выхода воздуха из древесины в направлении обратном направлению подачи давления; упрощение загрузки-выгрузки лесоматериалов [16], особенно длинномерных; упрощение процесса пополнения и контроля объема пропиточной жидкости в емкости; переход от индивидуального к групповому способу обработки упрощает технологический процесс и обеспечивает повышение производительности [3].

Заключение и выводы.

Рассмотрены способы пропитки, дан их критический анализ. Предложен новый способ пропитки, осуществляемый путем погружения в пропиточную антисептическую жидкость вертикально ориентированной пачки круглых лесоматериалов [7, 10, 14]. Пропитанные материалы предназначены для использования в качестве вертикальных опор, нижняя часть которых подвергается интенсивному разрушающему воздействию среды размещения (опоры линий электропередач, сваи, заглубленные в грунт, бетон и т.д.).

Способ снижает энергоемкость процесса пропитки по отношению к известным способам пропитки, а так же расход пропитываемой жидкости [6, 15, 18].

Библиографический список

1. Беспалова В.В., Грязькин А.В., Беляева Н.В., Кривоногова А.С. Проблемы и основные направления развития лесной отрасли // Экономика и эффективность организации производства. №30. – Брянск: БГИТА, 2019. – С. 13-16.
2. Бирман А.Р., Кривоногова А.С. Использование методов пропитки длинномерных сортиментов сырья // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2015 №1 – Нижневартковск: НВГУ, 2015. – 94 с. С. 45-48.
3. Бирман А.Р., Кривоногова А.С. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях ландшафтной архитектуры // Актуальные графические технологии. Выпуск I: Современные и традиционные изобразительные средства в ландшафтном проектировании - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.
4. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан Технологическое устройство для пропитки капиллярно-пористых тел // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2017. – 166 с. С. 99-101.
5. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А. Определение коэффициента фильтрации и параметров процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – 427 с. С. 238-243.
6. Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Кривоногова А.С., Тоан Нгуен Ван Критический анализ использования способов пропитки с целью повышения качественных характеристик древесного сырья // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2016. – 159 с. С. 58-60.
7. Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Пропитка древесины гидростатическим способом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сборник науч. труд. по материал. заоч. НПК, 2014 г. №5 ч. 4 (10-4). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – 410 с. С. 33-38.
8. Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Торцовая пропитка длинномерных сортиментов // Научное обозрение. 2014 № 7 – М.: «Буква», 2014. – 504 с. С. 281-285.
9. Борирование древесины пропиткой с целью повышения ее нейтронозащитных свойств / А.Р. Бирман, В.А. Соколова, А.С. Кривоногова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып. 208. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 277 с. С. 130-138.
10. Кривоногова А.С., Бирман А.Р. Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 314-320.
11. Кривоногова А.С., Бирман А.Р. Пропитка капиллярно-пористых структур встречно-центробежным способом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник трудов по материалам международной заочной НПК, 2015. - № 2, ч.1 (13-1). Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2015. – 487 с. С. 236-240.
12. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Беспалова В.В. Анализ движения жидкости в капиллярно-пористых структурах в контексте улучшения механических показателей конструкционных материалов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы IV НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449с. С. 361-363.
13. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан, Белоногова Н.А. Моделирование процесса пропитки капиллярно-пористых структур в производстве древесно-угольных сорбентов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 224с. С. 204-205.

14. Кривоногова А.С. Математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами пероксида // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – 427 с. С. 251-256.
15. Кривоногова А.С. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.
16. Кривоногова А.С, Nguen V.T., Соколова В.А., Бирман А.Р., Беспалова В.В. Теоретическое обоснование процесса движения жидкости в капиллярно-пористых средах в контексте повышения прочностных характеристик материала // Системы Методы Технологии. Выпуск 3 (39) – Братск: БрГУ», 2018 г. – 164 с. С. 130-135.
17. Соколова В. А., Бирман А.Р., Орлов В.В., Теппоев А.В., Кривоногова А.С., Бачериков И.В., Парфенопуло Г.К. Использование железо-водных и дерево-железных смесей в защите от ионизирующих излучений // Системы Методы Технологии. Выпуск 1 (37), Братск: ФГБОУ ВО «БрГУ», 2018 г. – 164 с., С. 94-99.
18. Соколова В.А., Кривоногова А.С., Иванов А.М., Марков В.А., Парфенопуло Г.К. Пути улучшения качества продукции на деревообрабатывающем предприятии // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 50-55.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия

SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Гутлыев А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	mtmu49@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются методики проведения экспериментов по пропитке капиллярно-пористых структур. Проведен критический анализ способов пропитки капиллярно-пористых структур. Даны рекомендации по осуществлению встречно-центрифужного способа пропитки в поле центробежных сил и определены режимы пропитки на экспериментальном и производственном оборудовании.

Ключевые слова: древесина, капиллярно-пористые структуры, пропитка в поле центробежных сил.

УДК 630*841.21:544.022.537

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99; 66.03.03

К вопросу о математическом моделировании технологии пропитки капиллярно-пористых структур

**Кривоногова А.С., Бирман А.Р.,
Соколова В. А., Пушков Ю.Л., Парфенопуло Г.К.**

Введение

В данной работе проведен критический анализ способов пропитки древесины и рассмотрены возможности технологии процесса пропитки капиллярно-пористой структур), исследуется взаимосвязь пропитываемости и проницаемости капиллярно-пористых структур (КПС).

Цели и задачи

Задачей настоящей работы является создание математической модели процесса пропитки капиллярно-пористой структуры в поле центробежных сил встречно-центробежным способом.

Одним из способов получения окисленных древесных углей является их тепловая обработка в капсуле с присутствием десятипроцентного раствора

пероксида. Наиболее интенсивно процесс окисления угля будет проходить при максимальном контакте пероксида с активной площадью капиллярно-пористой структуры, которой является древесный уголь-сырец. Такого контакта можно добиться пропиткой угля пероксидом до тепловой обработки, поместив капсулу с углем и раствором пероксида в поле центробежных сил [1, 7].

Методика исследования

Способ пропитки на центрифуге известен, апробирован [2, 10] и дает при обработке КПС хорошие результаты. Указанный способ характерен тем, что обеспечивает равномерную сквозную пропитку капиллярно-пористой структуры, что особенно важно для получения окисленных древесных углей, используемых в качестве сорбентов.

При пропитке древесных КПС с повышенной влажностью пероксид имеет наибольшее капиллярное и диффузионное проникновение [3, 9], а после пропитки – и некоторое дополнительное диффузионное распределение [4, 8]. При этом способ диффузионного перераспределения является функцией влажности [5, 6, 10].

Результаты и обсуждение исследований

Изучение возможности пропитки КПС связано с исследованиями ее проницаемости, которую обычно определяют, основываясь на законе Дарси [3, 11].

Предположим, что пропитываемый элемент является цилиндром, ось которого в центробежной установке совпадает с полярным радиусом вращающейся вокруг своего полюса системы координат и задача сводится к дифференциальному уравнению, если не учитывать сжимаемость жидкости и древесного угля [12, 15].

Полагаем, что стержень и жидкость несжимаемы, продольная фильтрация в стержне подчиняется закону Дарси:

$$v(x,t) = -K \frac{dH}{dx}, \quad H(x,t) = u(x,t) - \frac{1}{2} \rho \omega^2 (a-x)(2s-a-x) \quad (1)$$

где k – коэффициент продольной фильтрации; $H(x,t)$ – гидравлический напор; x – продольная координата, начало которой $x=0$ совпадает с точкой А; $u(x,t)$ – поровое давление в образце; ρ – плотность жидкости; ω – угловая скорость вращения; s – расстояние от точки А до оси L; v – скорость фильтрующейся поровой жидкости в направлении x , a – текущая координата, b – длина стержня АВ.

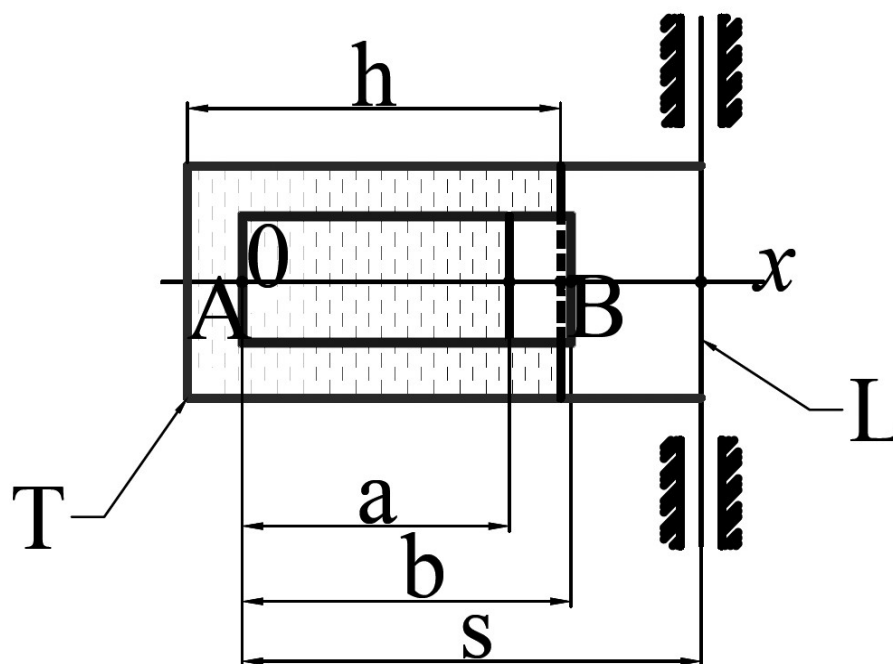


Рис. 1. Схема пропитки образца встречным способом в поле центробежных сил

Пусть в момент времени $t=0$ образец полностью обезвожен и мгновенно возникает центробежное поле давлений $\frac{1}{2}\rho\omega^2 \cdot (h-x) \cdot (2s-h-x)$. Тогда за счет фильтрации в произвольный момент времени t уровень полной пропитки образца достигнет некоторой точки $x=a$.

$$\frac{\partial^2 H}{\partial x^2} - \alpha^2 H = q, \quad x \in (0, a) \quad q = -\frac{1}{2}\alpha^2 \rho \omega^2 \cdot (a-h) \cdot (2s-a-h), \quad a \leq h \leq s \quad (2)$$

$$H = \rho \omega^2 \cdot (h-a) \cdot (2s-h-a) \cdot \left[\frac{1/2 - e^{-\alpha a}}{2sh\alpha a} \cdot sh\alpha x + \frac{1}{e^{\alpha x}} - \frac{1}{2} \right] + \frac{P_a sh\alpha x}{2sh\alpha x} \quad (3)$$

$$v(a, t) = -K\alpha R(a), \quad (4)$$

Если боковая пропитка слабая, то коэффициентом α можно пренебречь. Тогда уравнение (3) упрощается [12, 14]. Его решение с учетом прежних граничных условий принимает вид

$$H(x, t) = \frac{1}{2} \rho \omega^2 (h-a)(2s-h-a) \left(1 - \frac{x}{a} \right) + P_a \frac{x}{a} \quad (5)$$

Скорость пропитки выражается формулой

$$\frac{da}{dt} = \frac{k}{a} \left[\frac{1}{2} \rho \omega^2 (h-a)(2s-h-a) - P_a \right] \quad (6)$$

Коэффициент фильтрации k можно найти экспериментально [13, 18]. Для этого в формулу нужно подставить величины ρ , ω , t , s , a .

$$k = \frac{2}{\rho\omega^2 t} \left[\ln \frac{s-a}{s} + \frac{a}{s-a} \right], \quad h = s \quad (7)$$

Таким образом, неэффективна пропитка сортиментов, длина которых близка к радиусу платформы центрифуги.

При $P_a=0$. Тогда при $h=s$

$$t = \frac{2}{k\rho\omega^2} \int \frac{ada}{(s-a)^2} = \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\ln(s-a) + \frac{s}{s-a} \right] + c \quad (8)$$

При $h < s$:

$$t = \frac{2}{k\rho\omega^2} \int \frac{ada}{(h-a)(2s-h-a)} = \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\frac{2s-h}{2(s-h)} \ln(2s-h-a) - \frac{h}{2(s-h)} \ln(h-a) \right] + c \quad (9)$$

Таким образом,

$$t = 2(k\rho\omega^2)^{-1} \left[\ln(s-a)s^{-1} + a(s-a)^{-1} \right], \quad h = s$$

$$t = \frac{2}{k\rho\omega^2} \left[\frac{2s-h}{2(s-h)} \ln \frac{2s-h-a}{2s-h} - \frac{h}{2(s-h)} \ln \frac{h-a}{h} \right], \quad h < s \quad (10)$$

Заключение и выводы.

Проведенный анализ показал: математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами пероксида позволяет утверждать [13, 16-18], что способ центробежной пропитки является одним из наиболее эффективных; для пропитки можно рекомендовать встречно-центробежный способ пропитки древесного угля.

Библиографический список

1. Беспалова В.В., Грязькин А.В., Беляева Н.В., Кривоногова А.С. Проблемы и основные направления развития лесной отрасли // Экономика и эффективность организации производства. №30. – Брянск: БГИТА, 2019. – С. 13-16.
2. Бирман А.Р., Кривоногова А.С. Использование методов пропитки длинномерных сортиментов сырья // Вестник Нижневартковского государственного университета. 2015 №1 – Нижневартковск: НВГУ, 2015. – 94 с. С. 45-48.
3. Бирман А.Р., Кривоногова А.С. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях ландшафтной архитектуры // Актуальные графические технологии. Выпуск I: Современные и традиционные изобразительные средства в ландшафтном проектировании - СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.
4. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан Технологическое устройство для пропитки капиллярно-пористых тел // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2017. – 166 с. С. 99-101.
5. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А. Определение коэффициента фильтрации и параметров процесса пропитки древесных углей в поле центробежных сил // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – 427 с. С. 238-243.

6. Бирман А.Р., Локштанов Б.М., Кривоногова А.С., Тоан Нгуен Ван Критический анализ использования способов пропитки с целью повышения качественных характеристик древесного сырья // Актуальные проблемы развития лесного комплекса – Вологда: ВоГУ, 2016. – 159 с. С. 58-60.
7. Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Пропитка древесины гидростатическим способом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Сборник науч. труд. по материал. заоч. НПК, 2014 г. №5 ч. 4 (10-4). – Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2014. – 410 с. С. 33-38.
8. Бирман А.Р., Соколова В.А., Кривоногова А.С. Торцовая пропитка длинномерных сортиментов // Научное обозрение. 2014 № 7 – М.: «Буква», 2014. – 504 с. С. 281-285.
9. Борирование древесины пропиткой с целью повышения ее нейтронозащитных свойств / А.Р. Бирман, В.А. Соколова, А.С. Кривоногова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии: Вып. 208. – СПб.: СПбГЛТУ, 2014. – 277 с. С. 130-138.
10. Кривоногова А.С., Бирман А.Р. Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 314-320.
11. Кривоногова А.С., Бирман А.Р. Пропитка капиллярно-пористых структур встречно-центробежным способом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник трудов по материалам международной заочной НПК, 2015. - № 2, ч.1 (13-1). Воронеж: ФГБОУ ВПО «ВГЛТА», 2015. – 487 с. С. 236-240.
12. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Беспалова В.В. Анализ движения жидкости в капиллярно-пористых структурах в контексте улучшения механических показателей конструкционных *материалов* // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы IV НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2019. – 449с. С. 361-363.
13. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан, Белоногова Н.А. Моделирование процесса пропитки капиллярно-пористых структур в производстве древесно-угольных сорбентов // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2016. – 224с. С. 204-205.
14. Кривоногова А.С. Математическая модель процесса пропитки капиллярно-пористых структур водными растворами пероксида // Научное обозрение. 2015 №7 – М.: «Буква», 2015. – 427 с. С. 251-256.
15. Кривоногова А.С. Обзор технологии повышения качественных составляющих лесоматериалов методом пропитки древесины в строительных конструкциях / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Актуальные графические технологии. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – 224 с. С. 203-207.
16. Кривоногова А.С., Nguen V.T., Соколова В.А., Бирман А.Р., Беспалова В.В. Теоретическое обоснование процесса движения жидкости в капиллярно-пористых средах в контексте повышения прочностных характеристик материала // Системы Методы Технологии. Выпуск 3 (39) – Братск: БрГУ», 2018 г. – 164 с. С. 130-135.
17. Соколова В. А., Бирман А.Р., Орлов В.В., Теппоев А.В., Кривоногова А.С., Бачериков И.В., Парфенопуло Г.К. Использование железо-водных и дерево-железных смесей в защите от ионизирующих излучений // Системы Методы Технологии. Выпуск 1 (37), Братск: ФГБОУ ВО «БрГУ», 2018 г. – 164 с., С. 94-99.
18. Соколова В.А., Кривоногова А.С., Иванов А.М., Марков В.А., Парфенопуло Г.К. Пути улучшения качества продукции на деревообрабатывающем предприятии // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 50-55.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Бирман Алексей Романович
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Парфенопуло Г.К.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	parfenon73@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются методики математического моделирования по пропитке капиллярно-пористых структур. Проведен критический анализ способов пропитки капиллярно-пористых структур.

Ключевые слова: древесина, капиллярно-пористые структуры, пропитка в поле центробежных сил.

УДК 630*841.21.544.022.537:519.876.5.004.942:66.011

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99; 66.03.03

Технология уплотнения древесины мягких лиственных пород в производстве древесного угля

**Кривоногова А.С., Соколова В. А.,
Бирман А.Р., Пушков Ю.Л., Марков В.А.**

Введение

При проведении исследований были поставлена задача разработать экспериментальную установку для получения образцов древесины со степенью уплотнения до $\varepsilon=0,75$. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований [6, 9].

Цели и задачи

Наиболее трудо- и энергоемкими процессами при прессовании древесины являются процессы ее пластификации, при этом оптимальная влажность прессуемой древесины обычно ограничивается 10-15%, что трудно осуществить в условиях лесозаготовительных предприятий [7, 8, 10].

Для обеспечения прессования заготовок из свежесрубленной древесины без ее предварительной пластификации разработан способ уплотнения древесины в пьезо-акустическом поле высокой интенсивности, которое обеспечивает интенсивный процесс уплотнения за счет совместного действия акустических колебаний и механического давления. Это приводит к ее пластификации, что является чрезвычайно важным при осуществлении уплотнения древесины [11, 14].

Методика исследования

Древесный уголь принадлежит к пористым веществам. В объем входят поры разных размеров, начиная с крупных, определяемых визуально и самых мелких [12, 13]. Пористость древесного угля является одной из причин его повышенной реакционной способности. С уменьшением пористости реакционные свойства твердых углеродных веществ снижаются [1, 15]. Глубокое уплотнение древесины способствует созданию равномерно пористой адсорбционной микроструктуры. Причем при силовом воздействии на древесину дополнительно вскрываются «глухие» микропоры [2, 3].

Кроме того, уплотнение компенсирует природный градиент плотности, которая зависит не только от породы. Она не одинакова даже в частях одного

дерева: у ядра она больше, чем у заболони, в основании ветвей больше, чем у ядра. Имеет влияние возраст дерева, условия произрастания [16].

Модификация древесины путем уплотнения способствует устранению механических повреждений структуры древесного угля, который по своей природе не является сплошным телом; обычно он имеет большое количество трещин, происхождение которых весьма разнообразно [17]. Трещины образуются в процессе роста дерева, в процессе пиролиза древесины и при охлаждении древесного угля.

Результаты и обсуждение исследований

Для проведения эксперимента нами была изготовлена пресс-форма (рис. 1) (виброэкструдер) [18] для осуществления контурного уплотнения образцов с размерами: длина 60 мм; диаметр 50 мм. Параметры акустического поля были использованы в соответствии с работами Базарова С. М., Бирмана А. Р., Сугаипова У. У. и Ховарда Метти.

В прессовый канал экструдера закладывался образец 2 из натуральной древесины. Пресс-форма подвергалась воздействию акустического поля (в течение всего периода процесса прессования) [4, 12], передаваемого от генератора через магнитостриктеры 4. Пуансон 1, установленный на штоке пресса, совершал рабочий ход и продвигал образец в канал 3 экструдера, выполненный в виде усеченного конуса с наклоном образующей 18° , на глубину 60 мм (высота образца).

После подъема пуансона 1 в исходное положение в пресс-форму загружался следующий образец и так же, за счет силового воздействия, продвигался в канале экструдера на глубину 60 мм. Длина канала экструдера составляла 180 мм при максимальном диаметре конуса 50 мм и минимальном – 29 мм.

После загрузки четырех образцов первый из них выталкивался из канала экструдера и попадал в съемный стакан 5 с внутренним диаметром 29 мм, удерживаемый в контакте с экструдером подъемным винтом 6 с резьбой. Винт 6 размещался в корпусе 7, установленном на станине пресса. При этом между винтом и стаканом устанавливались стальные шары диаметром 15 мм в количестве 10 шт., которые являлись акустическим демпфером между экструдером и металлоконструкцией пресса. После выдержки съемного стакана, с находящимся в нем образцом уплотненной древесины, в термокамере влажность образцов снижалась до величины 4,0-6,7 % и они свободно извлекались из полости приемного стакана [5, 12].

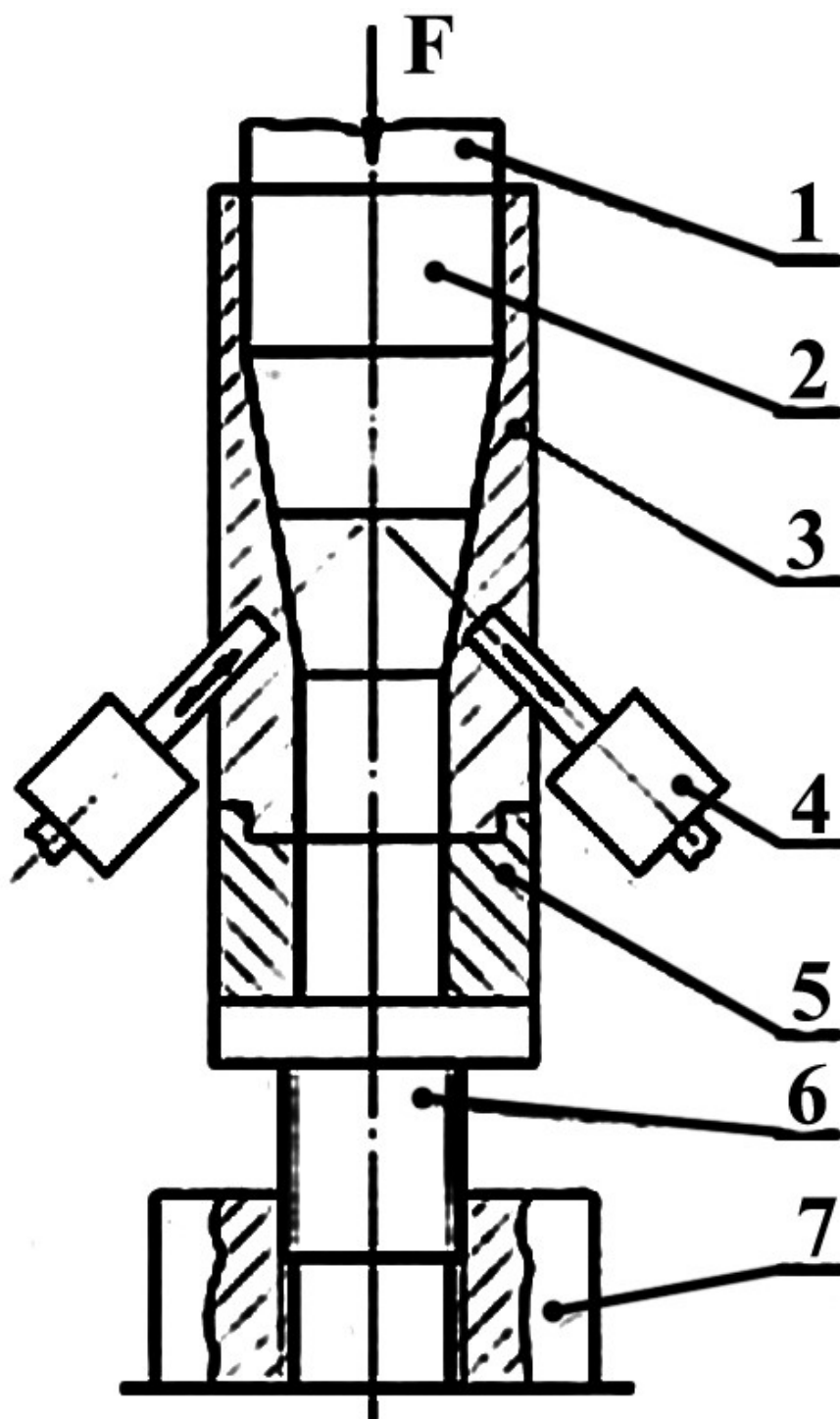


Рис. 1. Устройство для контурного прессования древесины:
 1 – пуансон, 2 – образец, 3 – пресс-форма, 4 – магнитостриктер, 5 - стакан,
 6 – подвижная опора, 7 – станина.

Заключение и выводы

При проведении работ выявлено, что при попытках уплотнения древесины при выключенном акустическом поле резко возрастает сила трения между наружной поверхностью образцов и внутренней поверхностью конуса экструдера [12].

Методика анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик древесины за счет пьезотермической обработки позволила установить рациональные области применения конечного продукта в зависимости от эксплуатационных требований:

- при степени уплотнения $\varepsilon=0,75$ в 5-8 раз увеличиваются показатели твердости, износостойкости и сопротивление поперечному изгибу;
- при динамических нагружениях снижаются показатели сопротивления ударному изгибу, скалыванию и ударной твердости;
- при сжатии древесины вдоль волокон не обнаруживается существенного улучшения эксплуатационных характеристик, и применение такой древесины для конструкционных материалов не целесообразно.

Библиографический список

1. Бирман А.Р. Анализ эксплуатационных параметров уплотненной древесины / Бирман А.Р., Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.9-12.
2. Бирман А.Р., Белоногова Н.А., Соколова В. А., Кривоногова А.С., Нгуен Ван Тоан Топливные брикеты новой конфигурации // Системы Методы Технологии. Выпуск 1 (33), Братск: ФГБОУ ВО «БрГУ», 2017. – 164 с., С. 97-101.
3. Бирман А.Р., Кривоногова А.С., Соколова В.А., Нгуен Ван Тоан. Модификация древесины мягких лиственных пород методом глубокого уплотнения // Научное обозрение. 2015. Вып. 17. 462 с. С. 90-94.
4. Кривоногова А.С., Бирман А.Р. Анализ способов термохимической переработки в технологии производства древесного угля // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2017 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2018 – 330 с. С. 314-320.
5. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Марков В.А. Иванов Л.Д., Девяткин А.В. Предпосылки к теоретическому обоснованию закономерностей изменения прочностных характеристик уплотненной древесины // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 247-252.
6. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Скворцов В.В., Осипов Ф.М. К вопросу о теоретическом обосновании закономерностей изменения прочностных характеристик от степени уплотнения древесины // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 278-284.
7. Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А. Теоретическое обоснование зависимости изменения прочностных характеристик от коэффициентов износостойкости и твердости уплотненной древесины // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 252-261.

8. Кривоногова А.С. Вопросы определения экономической эффективности применения прессованной древесины при производстве в современных социально-экономических условиях / Кривоногова А.С. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С.35-39.
9. Кривоногова А.С., Добрынин Ю.А., Соколова В.А., Нарметов Темур Экономической эффективности применения прессованной древесины в производстве в контексте современных социально-экономических условий // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 261-269.
10. Кривоногова А.С. Методика статистического анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик уплотненной древесины [Текст] / Кривоногова А.С. // Научное обозрение. 2015 №7 – Москва: «Буква», 2015. – С. 293-302.
11. Кривоногова А.С. Модификация древесины методом уплотнения с целью получения древесного угля с высокой сорбционной способностью / Кривоногова А.С., Бирман А.Р. // Передовые технологии в лесном комплексе: материалы НТК СПбГЛТУ по итогам НИР 2014 г. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – 56 с. С. 27-32.
12. Кривоногова А.С. Совершенствование технологии подготовки древесины мягких лиственных пород для производства угля высокого качества [Текст]: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук (05.21.01) / Кривоногова Александра Станиславовна; СПбГЛТУ. – СПб., 2015. – 20 с.
13. Кривоногова А.С., Соколова В.А., Парфенопуло Г.К., Шефф С.А., Майкут И.А. Ретроспектива влияния качественных показателей лесоматериалов на применение в строительных конструкциях // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 269-278.
14. 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.
15. Сергеевичев В.В., Кривоногова А.С., Бирман А.Р., Соколова В.А., Вопросы области применения модифицированной древесины методом глубокого уплотнения // Материалы второй международной научно-технической конференции «Леса России: политика, промышленность, наука, образование». Том 3. СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – 225 с., с. 128-130.
16. Соколова В.А., Кривоногова А.С., Иванов А.М., Марков В.А., Парфенопуло Г.К. Пути улучшения качества продукции на деревообрабатывающем предприятии // Научно-техническая конференция института технологических машин и транспорта леса Санкт-Петербургского государственного лесотехнического университета по итогам научно-исследовательских работ 2018 года. – СПб.: СПбГЛТУ, 2019 – 410 с. С. 50-55.
17. Parkhomenko G.G., Voinash S.A., Sokolova V.A., Krivonogova A.S., Rzhavtsev A.A., Reducing the negative impact of undercarriage systems and agricultural machinery parts on soils // IOP Conference series: Earth and environmental science: Earth and Environmental Science. 4th Scientific-Technical Conference on Forests of Russia: Policy, Industry, Science and Education 2019 – Великобритания: Institute of Physics Publishi №315, 2019 – P. 012049.

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Бирман А.Р.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	3247-9904
e-mail	birman1947@mail.ru
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Марков В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	1503-7932
e-mail	mactor85@mail.ru

Аннотация

В данной статье рассматриваются анализа закономерностей изменения физико-механических характеристик древесины за счет пьезотермической обработки.

Ключевые слова: древесина, капиллярно-пористые структуры, древесный уголь, уплотнение древесины.

УДК 674.049.2:630*867.5

Разделы рубрикатора ГРНТИ 66.43.99; 66.03.03

6. ПРОЧИЕ ВОПРОСЫ

Разработка программного обеспечения для проектирования жилых помещений

Угрюмов С.С., Угрюмов С.А.

Введение

На первой этапе проектирования жилого пространства, как правило, необходимо иметь оперативную информацию о конструктивных особенностях предполагаемого объекта строительства, на основе которой можно оценить удобство планировки для заказчика, а также упростить дальнейшие проектировочные и дизайнерские работы [1].

Целью работы является применение информационных технологий для автоматизации первичных планировочных решений при проектировании жилых комнат, квартир и домов. В рамках данной работы для автоматизации расчетов была использована программа Visual Studio 2019 [2], которая позволяет создать приложение для Windows и использовать его на первоначальном этапе проектирования реальных объектов.

Состав программы

При разработке автоматизированной программы в качестве выходных параметров использованы строительные характеристики, необходимые для разработки первичных представлений об объекте проектирования [3], они использованы для разработки класса «Комната», содержащего сведения о метраже, высоте потолков и количестве окон. На основе базового класса «Комната» разработан класс «Квартира», расширяющий базовый класс возможностями хранения сведений о количестве комнат, площади кухни, санузла, балкона, спальни, гостиной. На основе класса «Комната» создан класс «Загородный Дом», предполагающий хранение сведений об этажности дома и количестве комнат на этаже, а также о наличии двора и бассейна.

Все классы располагают методами для графического вывода объектов в элементе управления, указанном пользователем (форме, графическом окне). Методы графического вывода имеют возможность масштабирования (увеличения, уменьшения изображения).

Описание программного кода классов

Абстрактный класс «Комната» содержит поля: метраж, тип, кол-во окон, высота потолка. Этот класс наследуется для таких классов как, «Спальня», «Санузел», «Кухня», «Гостиная», «Балкон». Также сам класс «Комната» наследует интерфейс «ИКомната», через который мы вычисляем площадь,

объем и выводим информацию по отдельной комнате. Классы «Спальня», «Санузел», «Кухня», «Гостиная», «Балкон» содержат операторы для работы программы без ошибок, в случае ошибки в форме выводится текст о том, какой параметр заполнен не должным образом. Класс «Загородный Дом» схож с обычными классами за исключением коллекции на количество этажей и Bool-параметров «Зеленый Двор» и «Бассейн». Класс «Квартира» вычисляет количество комнат и собирает полный объем и площадь всех комнат.

Демонстрация работы методов и свойств библиотеки классов

После открытия программы, необходимо открыть вкладку «Конструктор Комнат» в котором имеется возможность выбрать тип комнаты, метраж, высоту потолка и количество окон. При нажатии на кнопку «Добавить Комнату» в ListVox1 добавляется информация о выбранной комнате. При нажатии на кнопку «Удалить Комнату» в ListVox1 удаляется выбранная комната (рис. 1).

Конструктор Комнат Создать Квартиру Создать Загородный дом

Тип комнаты

Спальня

Балкон

Гостиная

Санузел

Кухня

Метраж

5

Высота потолка

3

Количество окон

0

Комната Добавлена

Доступные комнаты

Тип : Кухня; Метраж :15,5 Вытота потолка : 3,5; Количество Окон :1

Тип : Спальня; Метраж :15,5 Вытота потолка : 3,5; Количество Окон :1

Тип : Санузел; Метраж :15,5 Вытота потолка : 3,5; Количество Окон :1

Тип : Балкон; Метраж :5 Вытота потолка : 3; Количество Окон :0

Добавить Комнату Удалить Комнату

Рис. 1. Конструктор комнат

При открытии вкладки «Создать Квартиру», в ListVox2 будет находиться вся информация о созданных комнатах из ListVox1 (класса «Комната»). При выборе типа комнаты и при нажатии кнопки «Добавить Комнату» выбранная комната добавляется в элементы квартиры, т.е. в ListVox4 (рис. 2).

После выбранных элементов квартиры, при нажатии на кнопку «Создать Квартиру», в ListVox5 появляется полная информация о квартире, т.е. количество комнат, общая площадь и какие типы комнат есть в квартире. При

этом ListBox4 очищается. Также можно удалить комнату при нажатии на кнопку «Удалить Комнату», выбранная комната удаляется из ListBox2.

При открытии вкладки «Создать Загородный Дом», в ListBox3 будет находиться вся информация о созданных комнатах из ListBox1 (класса «Комната»), выбираем тип комнаты и при нажатии на кнопку «Добавить Комнату», выбранная комната добавляется в элементы квартиры, т.е. в ListBox7.

При нажатии на кнопку «Добавить Этаж» в ListBox8 добавляется этаж с информацией о количестве комнат, общей площадью и типы комнат. При этом ListBox7 очищается.

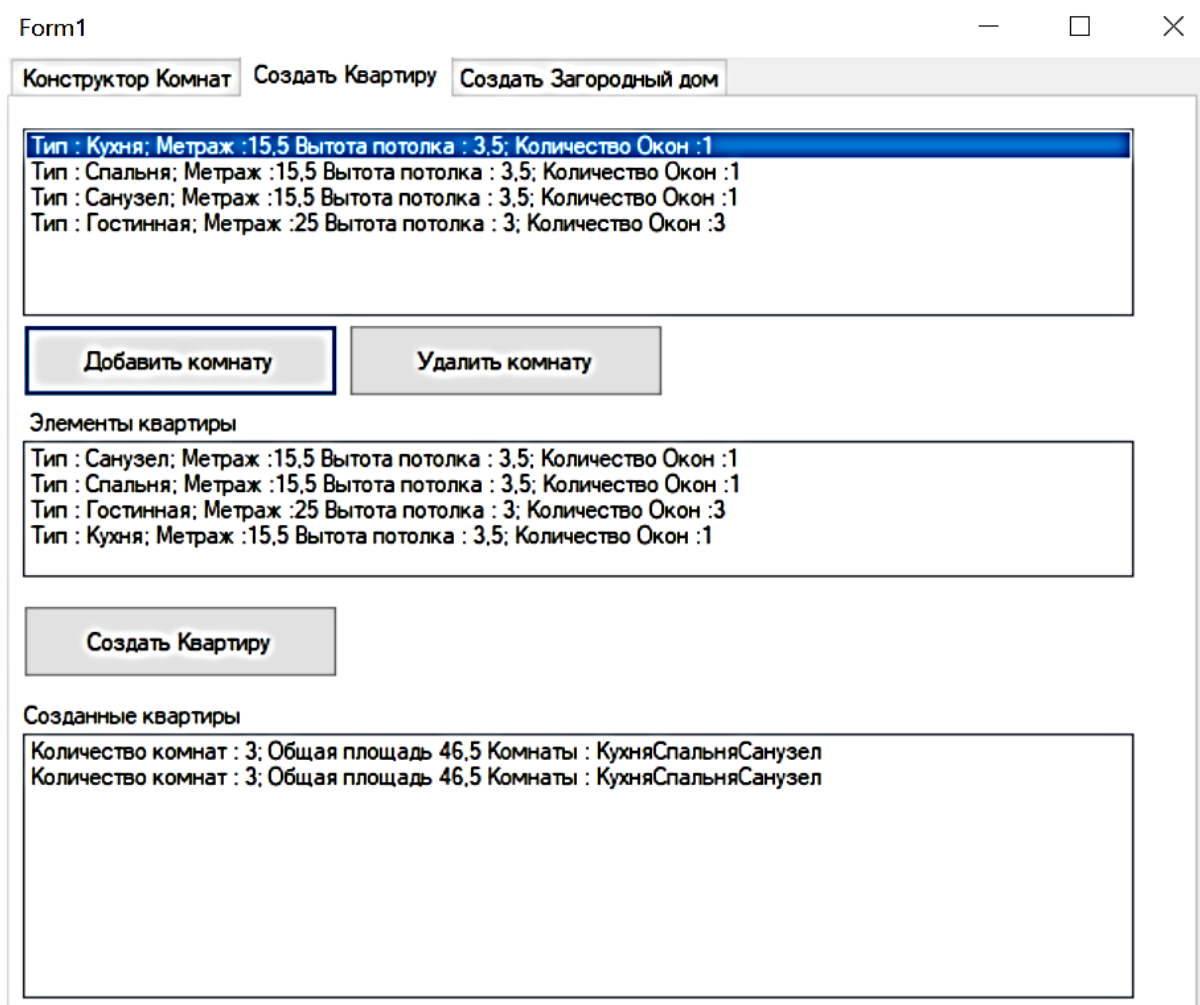


Рис. 2. Выбор параметров объекта проектирования

При нажатии на кнопку «Создать Дом», вся информация о выбранных этажах добавляется в Созданные Дома, т.е. в ListBox6, а ListBox8 очищается. Также мы можем выбрать зеленый двор или/и бассейн при нажатии на checkBox1 и checkBox2. В ListBox8 пишется количество этажей, количество комнат на каждом этаже и наличие зеленого двора и бассейна. Также можно

удалить комнату при нажатии на кнопку «Удалить Комнату» и удалить этаж при нажатии на кнопку «Удалить Этаж».

Руководство пользователя

В руководстве пользователя расшифрованы основные принципы работы приложения:

Переключение между списками – имеются три надписи, каждая отвечает за определенную информацию о квартире или доме. Переключаться по ним можно нажав левой кнопкой мыши по ним.

Добавление (удаление) записей – добавить запись можно нажав по соответствующей кнопке, для корректной работы необходимо заполнить все поля (вкладка конструктор комнат), иначе появится надпись «Поля не заполнены или заполнены с ошибкой». Удаление записей не имеет требований кроме наличия выбранного элемента списка.

Вывод

Создана библиотека классов и приложение, предназначенное для проектирования комнат, квартир и загородного дома, а также получения первичной строительной информации о них. Библиотека позволяет создавать, редактировать и удалять выбранные объекты из списка, если имеется такая необходимость. Разработанное приложение будет полезно проектировщикам жилых объектов на первом этапе работы с заказчиком и упростит дальнейшие работы по проектированию и дизайну строительных объектов.

Библиографический список

1. Гнутова О.В. Особенности предпроектного анализа в дизайн-проектировании жилого интерьера / О.В. Гнутова, С.Г. Ажгихин // Дизайн и архитектура: синтез теории и практики: сборник научных трудов. – Краснодар: КГУ, 2018. – С. 38-43.
2. Бурков А.В. Проектирование информационных систем в Microsoft SQL Server 2008 и Visual Studio 2008. – М.: ИНТУИТ, 2010. – 126 с.
3. Давыдова Е.А. Современные методы проектирования жилой секции гибкой планировочной структуры / Е.А. Давыдова // Студенческий, 2018. – № 15 (35). – С. 9-13.

Сведения об авторах

ФИО	Угрюмов С.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения
Адрес организации	190000, ул. Б. Морская, д. 67, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	Отсутствует
e-mail	ugr-s@yandex.ru

ФИО	Угрюмов С.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адресорганизации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	6246-6269
e-mail	ugr-s@yandex.ru

Аннотация

Приведено описание автоматизированной программы для автоматизации первичных планировочных решений при проектировании жилых комнат, квартир и домов. На базе программы Visual Studio 2019 создана библиотека классов и приложение, предназначенное для проектирования жилых объектов, а также получения первичной строительной информации о них. Программа может быть использована проектировщиками жилых объектов на первом этапе работы с заказчиком, позволяет упростить работы по проектированию и дизайну строительных объектов.

Ключевые слова: проектирование, программное обеспечение, класс, приложение, автоматизация.

УДК 681.3.06

Разделы рубрикатора ГРНТИ 50.51.17

Исторический обзор формирования типологии регулирования застройки Санкт-Петербурга

Кривоногова А.С., Пушкин Ю.Л., Соколова В.А., Хашанов Т.

Введение

Анализ типологии приемов формирования исторической застройки, Санкт-Петербурга, проведенный в [1, 4-9, 11-12], выявил несколько исторических этапов и периодов: 1706-1737, петровский; 1737-1762, аннинский; 1762-1802, екатерининский; 1810-1850-е гг., 1860-1890-е гг., 1890-е-1917 гг. (названия периодов – условное, связанное с периодом властвующим особ).

Цели и задачи

В каждый период процесс формирования застройки осуществлялся с использованием той или иной системы регулирующей или регламентирующей документации [1-2, 3, 10]. И в соответствии с принятой, в данном исследовании, системой исторических периодов выявим хронологию документации, управляющей процессами формирования застройки [1, 8]:

- постановления, предписания, указы и другие, отдельные регулирующие и регламентирующие документы;

- типовые проекты жилых зданий;
- типовые проекты загородных домов;
- типовые проекты общественных зданий;
- типовые проекты казенных государственных гражданских и военных зданий;
- типовые проекты застройки кварталов;
- проекты генеральных планов;
- уставы строительные;
- технико-строительные пособия.

Значимость и весомость этих документов в формировании приемов застройки различна в разные периоды и все время менялась. А именно, можно отметить о преобладании в эти периоды следующих приемов регулирования и регламентирования застройки [1, 4-8, 13].

Методика исследования

В петровский период началось массовое строительство обывательских домов по образцовым проектам в соответствии с Высочайшими указами, направленными на достижение регулярности планировки и застройки городов. Государство в этот период выступало в роли главного строительного заказчика. То есть, в этот период имели место документы под номерами: 1, 2, 7. В период работы аннинской комиссии строений приемы регулирования застройки несколько изменились [1, 4, 6, 8, 14]. Но по-прежнему государство являлось основным строительным заказчиком. Для достижения поставленных перед генеральным планом целей комиссией разработаны новые типовые проекты. Образцовые фасады являлись пособием для архитекторов и заказчиков, то есть, в процессе регулирования застройки появляются смягчения ограничений, совсем иначе, нежели в петровский период – «только так и никак иначе». Для этого периода характерны документы: 1, 2, 3, 4, 6, 7. Для екатерининского периода были характерны документы: 1, 2, 4, 5, 6, 7. В первой половине XIX века документ под номером 2 преобладает в меньшей степени, и с тридцатых годов XIX века усиливается технико-строительный контроль, расширяется архитектурно-строительное законодательство, происходит быстрое развитие учреждений и уставов строительных [1, 5-8, 11-12], и появляется управляющий документ под номером 8, прекращает действие документы под номером 1, и остаются 5, 7. Во второй половине XIX-начале XX века имеют место приемы регулирования застройки при помощи документов под номерами 5, 7, 8, 9. С предоставлением городским и земским управлениям самостоятельности в направлении ведения хозяйственных дел и вытекающего отсюда права издавать обязательные постановления по части местного городского благоустройства, из устава строительного (это документ под номером 8) удалена заметная доля

технических правил и нашла отражение в техническо-строительных пособиях (документ под номером 9), разрешавших многие практические вопросы и дававших необходимые рекомендации для широкого пользования обывателей [1, 4, 8, 1, 14].

Результаты и обсуждение исследований

В результате этого анализа можно отметить тенденции в снижении роли типового проектирования, смягчении ограничений, увеличения возможностей частных застройщиков, постепенном переходе к первичным требованиям, определяющим застройку, таким как противопожарные, технические, санитарно-гигиенические, и увеличения значимости уставов строительных [5-6, 8, 9]. Можно предположить наличие следующих причин этой тенденции: снижение роли государства как строительного заказчика, изменение характера частного заказчика, например, от главенствующей роли дворянства и купечества к господству буржуазии, и влияние общественного внимания обывателей, что в некоторых аспектах отражает современную ситуацию в строительной сфере [1, 8-9, 11-12].

Заключение и выводы

И, следовательно, исторический опыт управления строительной частью является неотъемлемой стороной при разработки регулирующих и регламентирующих документов в современных экономических и политических условиях.

Библиографический список

1. Кривоногова А.С. Архитектурно-строительное регулирование благоустройства в г. Санкт-Петербурге. Исторический обзор / Кривоногова А.С., Соколова В.А. // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – С. 258-260.
2. Кривоногова А.С. Вопросы сохранения и развития парка-усадьбы «Келло» [Текст] / Кривоногова А.С., Архипова Т.И. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 213. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – С. 62-74.
3. Кривоногова А.С. Грот Хуухканмяки, республика Карели, как элемент природного ландшафта. История и современность / Кривоногова А.С., Архипова Т.И. // Вестник ландшафтной архитектуры. Выпуск 9 / Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. – М.: МЭСХ, 2017. – С.29-34.
4. Кривоногова А.С. Исторический опыт городского благоустройства Санкт-Петербурга как концепция моделирования процессов общественно-социальной организации / Кривоногова А.С. // Чтения памяти Т.Б. Дубяго: Сборник статей Международной конференции – СПб.: Изд-во ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого», 2016. – С. 45-48.
5. Кривоногова А.С. К вопросу о регулирование благоустройства улиц Санкт-Петербурга в начале XX века. / Кривоногова А.С. // В мире науки и инноваций. – Уфа: Аэтерна, 2016. № 8. – С. 140-142.
6. Кривоногова А.С. Регулирование городского благоустройства Санкт-Петербурга. Уроки истории / Кривоногова А.С. // Современные проблемы и перспективы рационального

- лесоиспользования в условиях рынка: сборник материалов МНТК преподавателей, студентов, аспирантов и докторантов в рамках научной темы. – Сыктывкар: СЛИ. – 2014. С. 378-382.
7. Кривоногова А.С. Ретроспектива и уроки регулирования застройки в Санкт-Петербурге / Кривоногова А.С. // Инновационные механизмы решения проблем научного развития: сборник статей МНПК. – Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2016. № 4. – С. 154-156.
 8. Кривоногова А.С. Ретроспектива управления городским благоустройством и постройками в Санкт-Петербурге в начале XX века [Текст] / Кривоногова А.С. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 186. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 219-228.
 9. Кривоногова А.С. Управление и регулирование городским благоустройством в Санкт-Петербурге: уроки истории и актуальные тенденции / Кривоногова А.С., Бобрицкая Ю.М. // Новое направление в ландшафтной архитектуре (дизайн, планирование и управление): Сборник трудов международной конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 128-129.
 10. Кривоногова А.С. Усадьба «Келло» Каменской Волости Ленинградской Области. История формирования, упадок, перспективы восстановления / Кривоногова А.С., Архипова Т.И. // Вестник ландшафтной архитектуры. Выпуск 9 / Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. – М.: МЭСХ, 2017. – С.24-28.
 11. Krivonogova A.S. City development management and regulation in St. Petersburg: historical lessons and current trends / Krivonogova A.S., Bobritskaya J.M. // Three pillars of landscape architecture: design, planning and management. New visions: International conference proceedings – SPb.: St.-Petersburg State Polytechnic University, Polytechnic University Publishing House, 2017. – P. 28-28.
 12. Krivonogova A.S. Regulation of improvement of streets of St. Petersburg in the early XX century as a social structure in the context of the search innovative solutions of urban space in the XXI century / Krivonogova A.S., Bacherikov I.V. // Open urban space and landscape architecture: searching for new solutions – SPb.: St.-Petersburg State Polytechnic University, Polytechnic University Publishing House, 2016. – P. 46-47.
 13. Кривоногова А.С. К вопросу о типологии формирования регулирования исторической застройки Санкт-Петербурга // Вестник ландшафтной архитектуры. Выпуск 13 / Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. – М.: МЭСХ, 2018. – С. 48-51.
 14. Кривоногова А.С. Усадьбы Каменской Волости как историко-культурные объекты Лужского района Ленинградской области / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Архипова Т.И. // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – С. 256-258.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова

Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru
ФИО	Хашанов Т.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	mtmu49@mail.ru

Аннотация

В статье исследуются формирование и закономерности развития исторической застройки, эволюция нормирования, регламентирования и регулирования застройки Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: историческая застройка Санкт-Петербурга; архитектурно-строительное регулирование; сохранение исторического центра Санкт-Петербурга; реконструкция застройки Санкт-Петербурга.

УДК 711.111:711.424

Разделы рубрикатора ГРНТИ 67.07.01, 67.25.03, 67.25.23, 67.25.25

Исторический опыт формирования регулирования городского благоустройства российских (на примере застройки Санкт-Петербурга) и английских городов в контексте путей развития городского благоустройства

Кривоногова А.С., Пушков Ю.Л., Соколова В.А., Худайбердиев М.

Введение

Вопросам организации городского благоустройства в российских и английских городах и в начале XX, и в начале XXI века уделялось огромное

492

внимание, и решение этих вопросов вело к улучшению, не только, городской ткани и городского пространства, но и к социальному благополучию городского обывателя [1, 4-9, 11-13]. «Где улучшаются жилища, там пропадают кабаки. Дайте человеку такой дом, где он действительно был бы дома. И его не потянет ни в какой кабак»: цитата из вступительной речи Министра местного самоуправления Англии Джона Бернса на Международном съезде по градостроительству и планировке городов, 1910г. [15].

Цели и задачи

В течение многих столетий зодчие пытались привнести в развитие и планировку городского благоустройства стройность, красоту, чистоту. И только в конце XIX века проблема благоустройства предстала в образе общественной науки, где идеи планировки городов рассматриваются как основы его благоустройства. Архитекторы и градостроители в разных странах решали эти задачи, опираясь на специфику и менталитет граждан своих стран [1, 5, 7, 13].

Французские мастера стремились во всем быть изящными, также и их города; французы «живут» на бульварах, аллеях, улицах – поэтому французские архитекторы и градостроители превзошли в технологии городской отделки и инженерного благоустройства улиц [2, 3, 10, 14]. Англичане «живут» дома, они всегда преследовали практичность, а не красоту – их главная цель удобный, добротный дом – классический английский коттедж [16]. Английские архитекторы и градостроители выступали против плотной застройки, проводили в законодательном порядке обязательное максимально допустимое количества домов – 12 на 1 акр (0,4 га), и ряд других положений, с требованиями улучшений жилищных условий населения. Таких, как ориентация домов и устройство улиц и внутриквартальных проездов с учетом условий инсоляции. Эти положения и постановления легли в основу теоретических работ с идеями «города-сада» [8].

Американские градостроители пытались поразить огромными масштабами, их проекты отличались грандиозностью идей, количеством вложенных и затраченных средств и ресурсов [4, 6, 12]. Но большинство американских городов – это малоэтажные жилые здания, приспособленные к суровому климату (прототип русских) и раскинутые по земледельческим просторам страны. Немецкие архитекторы и градостроители к изучению проблем планировки городов подходили серьезно, с проработкой всех вопросов [5, 7, 9]. Сначала они опирались на парижский опыт в правильности и прямолинейности характера городов, затем увлекались прошлым с его криволинейными формами; также им импонировал английский тип жилья – коттедж со своим отдельным садиком [11, 13]. Немецкие градостроители

старались выработать рациональную систему устройства городов, апробированную к естественным условиям [8].

Попытки благоустройства в русских городах в период начала XX века и в вопросах планировки, и в вопросах благоустройства городов опирались на немецкий опыт. Исследования опыта немецких архитекторов для российских мастеров было полезно и необходимо, но первостепенен опыт основателей планировки городов в художественном и эстетическом отношении – это работы французских и итальянских архитекторов; в общественном и гигиеническом отношении – это работы английских архитекторов [4, 7, 13]. А также основные общие принципы необходимо было апробировать к российским специальным условиям, изучив их применение в странах Северной Америки и Канады, схожих с Россией по климатическим, топографическим, экономическим характеристикам того периода – начала XX века [6, 9].

Методика исследования

Порядок управления благоустройством в Санкт-Петербурге и некоторых других крупных городах Российской Империи начала двадцатого века был определен особым постановлением [7]. В Санкт-Петербурге в период, начиная с конца девятнадцатого века и, более активно, в начале двадцатого века Санкт-Петербургское общественное Управление, на которое были возложены обязанности заботиться о местных, городских, нуждах и пользах, проводило составление обязательных постановлений в области благоустройства и общественной безопасности [17]. После рассмотрения и одобрения Санкт-Петербургской Городской Думой обязательные постановления направлялись на согласование Градоначальнику. При согласии Градоначальника с выше упомянутыми обязательными постановлениями, они публиковались для общего сведения в «Ведомостях Санкт-Петербургского Градоначальства» с указанием срока вступления в действие и выставлялись на многолюдных городских улицах для широкого внимания [1, 5, 8].

Такое постановление имело действие и считалось обязательным для всех городских обывателей, полиции, других правительственных лиц и учреждений. В случае если Градоначальник не давал согласия на опубликование обязательных постановлений, то дело представлялось на разрешение особого по делам города Санкт-Петербурга присутствия [18].

Результаты и обсуждение исследований

Обязательные постановления включали в себя многие разделы различного характера, отражающие вопросы по санитарной части, по строительной части, по благоустройству городских территорий и содержанию их в должном порядке, противопожарные мероприятия и другие [8, 9].

Например, некоторых постановления, нарушение которых влекло за собой привлечение к законной ответственности. Например, обязанности возлагавшиеся на лица, ведомства и учреждения, владеющие домами и земельными участками в Санкт-Петербурге. Были обязаны содержать в исправности улицы и дороги, мостовые, шоссированные и другие, находящиеся перед их объектом недвижимости, согласно изданным постановлениям [4, 9]. Проезжие части дворов в домах, выходящих на замощенные улицы, должны быть вымощены камнем, асфальтом или иными не подверженными быстрому действию огню материалами. В обязанности владельцев входило исправление и заделывание выбоин, не дожидаясь сплошной перестилки покрытия всей дороги или улицы, в течение трех суток с момента получения повестки от лиц, наблюдающих за исправностью дорог. Если владелец территории, прилегающей к испорченной мостовой или шоссе, не приступил к исправлению или «перемощению», то он привлекался к законной ответственности, а дорогу исправляли по распоряжению Городской Управы за счет лица или ведомства, владеющих прилегающими объектами недвижимости. В таком же ключе рассматривались вопросы, касающиеся содержания в чистоте и надлежащем порядке улицы и площади с тротуарами, прилегающие к домам и дворовым территориям частных лиц и учреждений, ведомств, то есть юридических лиц [6]. Эти обязанности возлагались также на владельцев домов и дворовых территорий. На их ответственности было содержание половины ширины улицы, а площади – восьмисаженное расстояние (около 17 метров) от линии документального владения. Содержание площади на расстоянии свыше этого входило в обязанности города [8].

При таком, казалось бы, на современный взгляд, активном законодательном регулировании строительной частью и благоустройством в Санкт-Петербурге и многих городах Российской Империи в начале XX века, требовались увеличения и пересмотр норм, положений и законодательных актов. И многие специалисты в области строительного и архитектурного законодательства начала двадцатого века занимались этой проблемой, и надо отметить, не всегда безуспешно [8]. В тот период, как и теперь, использовали европейскую практику, например, опирались на свод английских строительных законов 1909 года. Но европейская строительная и градостроительная практика была не без огрехов, это отмечалось архитекторами, гражданскими инженерами и градостроителями начала XX века. И чтобы не повторять строительных ошибок европейских городов, в России на момент начала двадцатого века велась активная деятельность по увеличению, переработки норм строительного регулирования и регламентирования, действующих в Российской Империи и норм, разработанных в европейских странах, с переложением их к русским

городам [12]. На протяжении столетия строительное законодательство претерпевало изменения и улучшения [1, 8]. А именно требовались меры по законодательному регулированию застройки, расширению, благоустройству русских городов. С технической и общественной точки зрения было необходимо разделение городов на районы в отношении строительных требований, так как разные части городов были не равнозначны по многим параметрам, также как и другие градостроительные объекты [15].

Например, ширина улицы зависела от ее назначения – степени важности, роду и интенсивности движения. Интересы гигиены и удобства проезда требовали как можно большей ширины, но экономия земли, оборудование, инженерное благоустройство и содержание улицы старались ее ограничить до минимально допустимых размеров. Европейские города имели узаконенные нормы для проектирования улиц, в Лондоне улицы по ширине разделялись на пять классов [16]. В России улицы проектировали, по возможности, одной ширины. И тогда было понятно, что одни улицы в дальнейшем оказались бы недостаточно широкими для движения транспортных средств и пешеходов, а другие, наоборот, недостаточно узкими, с точки зрения их отделки и содержания. Строительное законодательство в России, как и в других странах, регулировало только минимально допустимую ширину улицы (рис. 1) – это было 10 сажень (около 21,3 м): проезжая часть в 8 сажень (около 17 м) и тротуары по 1 сажени (2,13 м), – по Уставу строительному, § 183, обязательным постановлениям СПб Городской Думы. Регулировалась ширина проезжей части дворов $1\frac{1}{2}$ сажени (около 3,2 м). Ряд других параметров упускался, не принималось во внимание, что одних случаях такая ширина недостаточна, в других – избыточна и, соответственно, содержание такой улицы было обременительно для городской казны [8].

Для улучшения планировки улиц при минимальной ширине, ориентировочно в 7 сажень или 50 футов (около 15 м), достаточной для удобства проезда и экономичной, но не достаточной с точки зрения гигиенической, был показателен английский опыт, признанный в Германии, Америке и ряде других стран. На рис. 2 изображен поперечный профиль жилой улицы, часто встречающейся в английских городах, примерно такой же ширины – 21 м: проезжая часть 5,5 м с пешеходными тротуарами, общая ширина 13 м, а с обеих сторон расположены палисадники перед домами шириной в 4 м [8].

И в английских городах с активной проезжей частью в 21 м и общей шириной в 35 м, и с проезжей частью 15 м и общей шириной 30 м с устройством рядовых посадок древесных (Рис. 3, 4).

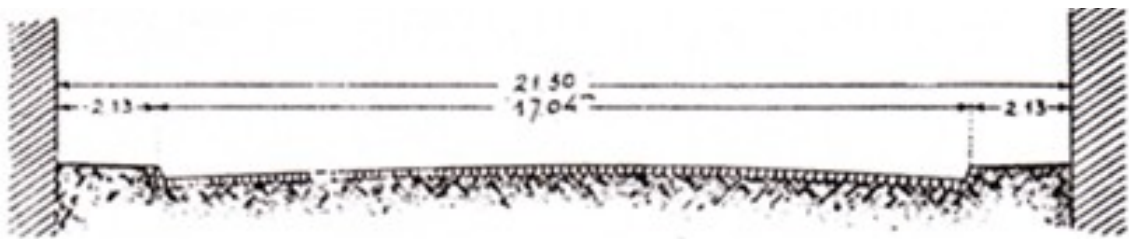


Рис. 1. Тип улицы в российских городах

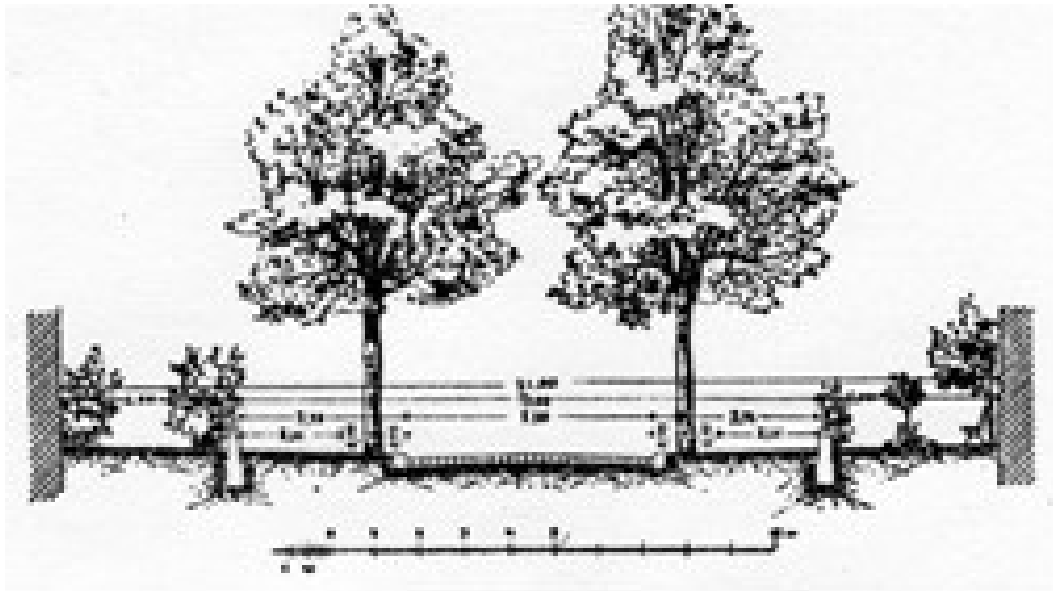


Рис. 2. Тип улицы в английских городах

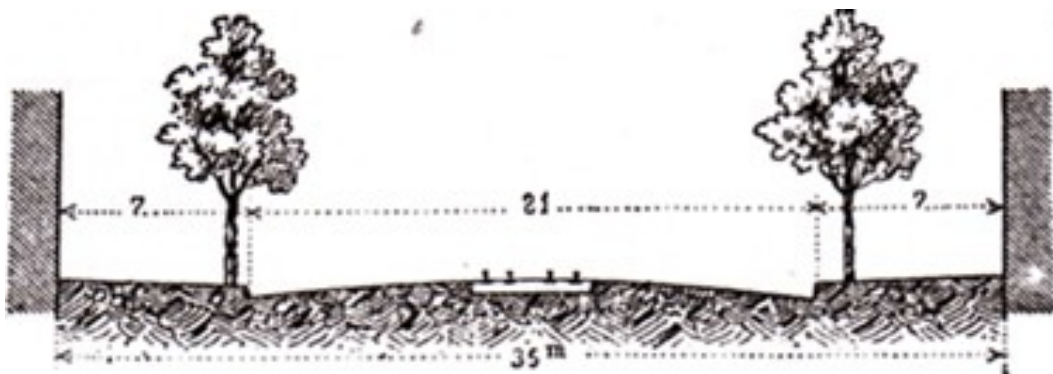


Рис. 3. Тип улицы с активным движением в английских городах

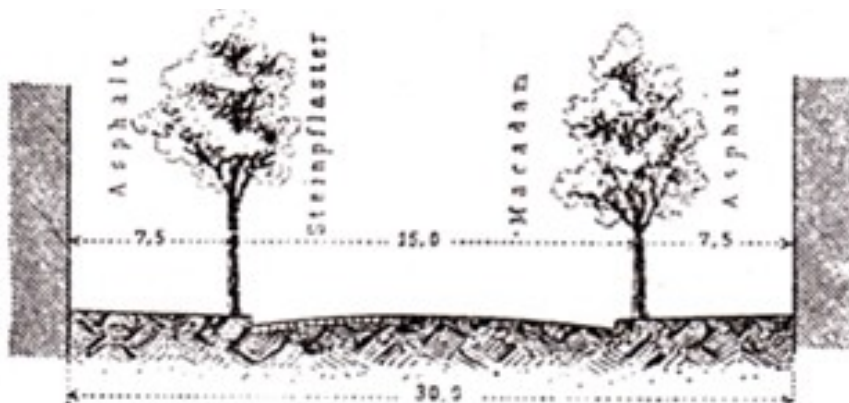


Рис. 4. Тип улицы с рядовыми посадками в английских городах

Пытались такие приёмы планировок приспособить и в России. Задача его заключалась в том, чтобы линия застройки, «красная линия», должна иметь отступ от линии владения, то есть каждый дом имел бы перед собой цветник или палисадник. Такие лицевые садики отделяли здания от улицы, защищали от пыли, шума, транспорта, обеспечивали освещение зданий, а содержание садиков находилось в ведении хозяев зданий. Такой принцип застройки и благоустройства улиц нам знаком – широко стал применяться с середины, и ранее, XX века в СССР и ряде других стран [4, 8].

Кроме регулирования ширины и длины улицы, регулировалась строго и высота. Высота зданий на улице зависела от ширины улицы и имела такие параметры: в Санкт-Петербурге, Берлине – 1:1, некоторые американские города – 1:2¹/₂, это было связано с влиянием на условия инсоляции и вентиляции улицы, так как для воздухообмена и поступления прямого солнечного света в квартиры, особенно в нижних этажах, крайне существенна ширина улицы [8, 15]. Самым лучшим соотношением между высотой зданий и шириной улицы было такое, при котором нижние этажи здания круглый год ежедневно, в течении нескольких часов получали прямой солнечный свет. Для таких целей высота зданий должна быть такой, чтобы тень от него никогда не падала на здания с противоположной стороны улицы, даже при низком стоянии солнца. Но в северных широтах такого требования достичь трудно, так как солнце высоко не поднимается. Как в Санкт-Петербурге при 60° северной широты здания бросают тень, превышающую их высоту порядка в 19 раз [8].

В европейских городах высота зданий до карниза требуется, не превышающая ширины улицы, с тем, чтобы лучи света проникали в нижние части здания под углом 45°, но в старых частях городов с узкими улицами допускаются более высокие здания [8].

Контроль высоты зданий в России относился к обязательным постановлениям, и находился в компетенции Городской Думы, но во многих городах по этому вопросу не было никаких постановлений и тогда [1, 8].

Заключение и выводы

Исследование этих и других аспектов, влияющих на формирование, развитие и управление благоустройством Санкт-Петербурга и других городов Российской Империи начала XX века необходимо для решения проблем реконструкции Санкт-Петербурга и ряда других городов Российской Федерации сегодня, в начале XXI века. С целью не только сохранить сложившийся облик городов с исторической застройкой, но и предоставить возможность для его развития в соответствии с современными технологиями и строительными системами.

И, следовательно, исторический опыт управления строительной частью является неотъемлемой стороной при разработки регулирующих и регламентирующих документов в современных экономических и политических условиях.

Библиографический список

1. Кривоногова А.С. Архитектурно-строительное регулирование благоустройства в г. Санкт-Петербурге. Исторический обзор / Кривоногова А.С., Соколова В.А. // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – С. 258-260.
2. Кривоногова А.С. Вопросы сохранения и развития парка-усадьбы «Келло» [Текст] / Кривоногова А.С., Архипова Т.И. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 213. – СПб.: СПбГЛТУ, 2015. – С. 62-74.
3. Кривоногова А.С. Грот Хуухканмяки, республика Карели, как элемент природного ландшафта. История и современность / Кривоногова А.С., Архипова Т.И. // Вестник ландшафтной архитектуры. Выпуск 9 / Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. – М.: МЭСХ, 2017. – С.29-34.
4. Кривоногова А.С. Исторический опыт городского благоустройства Санкт-Петербурга как концепция моделирования процессов общественно-социальной организации / Кривоногова А.С. // Чтения памяти Т.Б. Дубяго: Сборник статей Международной конференции – СПб.: Изд-во ФГАОУ ВО «СПБПУ Петра Великого», 2016. – С. 45-48.
5. Кривоногова А.С. К вопросу о регулировании благоустройства улиц Санкт-Петербурга в начале XX века. / Кривоногова А.С. // В мире науки и инноваций. – Уфа: Аэтерна, 2016. № 8. – С. 140-142.
6. Кривоногова А.С. Регулирование городского благоустройства Санкт-Петербурга. Уроки истории / Кривоногова А.С. // Современные проблемы и перспективы рационального лесопользования в условиях рынка: сборник материалов МНТК преподавателей, студентов, аспирантов и докторантов в рамках научной темы. – Сыктывкар: СЛИ. – 2014. С. 378-382.
7. Кривоногова А.С. Ретроспектива и уроки регулирования застройки в Санкт-Петербурге / Кривоногова А.С. // Инновационные механизмы решения проблем научного развития: сборник статей МНПК. – Уфа: ООО «ОМЕГА САЙНС», 2016. № 4. – С. 154-156.
8. Кривоногова А.С. Ретроспектива управления городским благоустройством и постройками в Санкт-Петербурге в начале XX века [Текст] / Кривоногова А.С. // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. Вып. 186. – СПб.: СПбГЛТА, 2009. – С. 219-228.
9. Кривоногова А.С. Управление и регулирование городским благоустройством в Санкт-Петербурге: уроки истории и актуальные тенденции / Кривоногова А.С., Бобрицкая Ю.М. // Новое направление в ландшафтной архитектуре (дизайн, планирование и управление): Сборник трудов международной конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 128-129.
10. Кривоногова А.С. Усадьба «Келло» Каменской Волости Ленинградской Области. История формирования, упадок, перспективы восстановления / Кривоногова А.С., Архипова Т.И. // Вестник ландшафтной архитектуры. Выпуск 9 / Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. – М.: МЭСХ, 2017. – С.24-28.
11. Krivonogova A.S. City development management and regulation in St. Petersburg: historical lessons and current trends / Krivonogova A.S., Bobritskaya J.M. // Three pillars of landscape architecture: design, planning and management. New visions: International conference proceedings – SPb.: St.-Petersburg State Polytechnic University, Polytechnic University Publishing House, 2017. – P. 28-28.
12. Krivonogova A.S. Regulation of improvement of streets of St. Petersburg in the early XX century as a social structure in the context of the search innovative solutions of urban space in the XXI century / Krivonogova A.S., Bacherikov I.V. // Open urban space and landscape architecture: searching for new

solutions – SPb.: St.-Petersburg State Polytechnic University, Polytechnic University Publishing House, 2016. – P. 46-47.

13. Кривоногова А.С. К вопросу о типологии формирования регулирования исторической застройки Санкт-Петербурга // Вестник ландшафтной архитектуры. Выпуск 13 / Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. – М.: МЭСХ, 2018. – С. 48-51.
14. Кривоногова А.С. Усадьбы Каменской Волости как историко-культурные объекты Лужского района Ленинградской области / Кривоногова А.С., Соколова В.А., Архипова Т.И. // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы НТК – СПб.: СПбГЛТУ, 2017. – С. 256-258.
15. Вл. Семеновъ. Благоустройство городовъ / Предисл. В.Н. Белоусова. Изд. 2-е, стереотипное (переиздание 1912г.). М.: Едиториал УРСС, 2003. – 232 с.
16. В.П. Кашкадамов. Закон о планировке жилищ и городов, изданный в Англии в 1909 г. СПб., 1913. – 33 с.
17. Положение об общественном управлении городом Санкт-Петербургом. – СПб, 1903 г..
18. Городовое Положение 1870 г., ст. 101 Пол. 1903 г. ст. 424 Общ. учр. губ., т. II Св. Зак.

Сведения об авторах

ФИО	Кривоногова А.С.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	8399-6121
e-mail	krivonogova.aleksandra@lta-landscape.com
ФИО	Пушков Ю.Л.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5633-1797
e-mail	pushkov_yura@mail.ru
ФИО	Соколова В.А.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	5116-5102
e-mail	sokolova_vika@inbox.ru

ФИО	Худайбердиев М.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	mmu49@mail.ru

Аннотация

В статье исследуются формирование и закономерности развития исторической застройки, эволюция нормирования, регламентирования и регулирования застройки Санкт-Петербурга.

Ключевые слова: историческая застройка Санкт-Петербурга; архитектурно-строительное регулирование; сохранение исторического центра Санкт-Петербурга; реконструкция застройки Санкт-Петербурга.

УДК 711.111:711.424

Разделы рубрикатора ГРНТИ 67.07.01, 67.25.03, 67.25.23, 67.25.25

Изучение биологического ответа двух типов почв на внесение березового биоугля и сорбента изготовленного из отходов целлюлозно-бумажной промышленности

Воронина К.А., Дурова А.С.

Введение

Очистка почв от загрязнителей различного происхождения – одна из актуальных проблем современного общества [1].

В среднем по показателю загрязнения почв Российской Федерации, к опасной категории загрязнения почв токсикантами промышленного происхождения можно отнести примерно 1,7% обследованных в 2010-2018гг. населенных пунктов, к умеренно опасной категории загрязнения- 7,8%, к допустимой 90,5%. Отдельные участки почв могут иметь более высокую категорию загрязнения, чем в целом по городу [2]. Наиболее ценные – почвы сельскохозяйственного назначения. Так, по ГОСТу 17.4.1.02-83 Охрана природы (ССОП). Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения нормируется содержание более 30 наименований загрязняющих веществ в пахотных почвах [3].

В настоящий момент используют множество методов для рекультивации загрязненных территорий. В зависимости от степени загрязнения, токсичности загрязняющего вещества, длительности негативного воздействия и

климатических особенностей загрязненных территорий подбираются и комбинируются биологические, физические и химические методы рекультивации.

Одним из путей рекультивации почв, является внесение в них природных и искусственных сорбентов (отдельно или в определенных смесях с другими веществами), обеспечивающих сорбцию наиболее токсичных подвижных форм тяжелых металлов и, тем самым, существенно уменьшающих их поступление в растительность [4].

В целях изучения биологических особенностей различных почв на базе кафедры почвоведения и лесных культур Лесотехнического Университета был поставлен и проведен лабораторный 28-дневный эксперимент, в ходе которого было изучено влияние двух типов сорбентов, произведенных из отходов древесной и целлюлозно-бумажной промышленности на реакцию почвенного микробоценоза двух различных типов почв. В ходе эксперимента оценивались показатели биологической активности агродерново-подзолистой почвы, отобранной на территории древесного питомника Гатчинского музея-заповедника и чернозема, отобранного на действующих полях, расположенных на территории Краснодарского края.

Агрохимические параметры исследуемых образцов почв представлены в таблице 1.

Таблица 1.

Агрохимические параметры образцов почв, участвующих в эксперименте:

Почва	С орг	Гумус		рН		Р ₂ О ₅		К ₂ О		N л.г. %	
	%	%	Степень обеспеченности	-	Степень кислотности	мг/кг	Степень обеспеченности	мг/кг	Степень обеспеченности	мг/кг	Степень обеспеченности
агродернов оподзол	6,72 - 9,36	13, 3- 16, 0	Очень высокое	5,7 7- 6,1 8	Близкая к нейтральной	>5 00	Очень высокая	79- 89	Низкая	16, 8- 26, 6	Очень низкая
чернозем		2,6 9	низкая	7,0	Нейтральная	54	средняя	24 3	высокая	<1 5	Очень низкая

При закладке эксперимента использовались следующие органические сорбенты:

1 – Биоуголь, изготовленный из древесины берёзы. Биологическим углем (биоуглем) принято называть материал, получаемый из древесины и органических отходов путем пиролиза при температуре 300–800°С без доступа кислорода [5].

2 – Сорбент, изготовленный при использовании электрогидравлической технологии при роспуске бумажной макулатуры и картона [6].

Опыт проведен в контролируемых лабораторных условиях. Масса каждого образца составляет 1 кг. Доза внесенного сорбента рассчитывалась по площади сосуда из расчета 3 тонны/га.

Рассмотрим основные результаты проведенного эксперимента.

Одним из основных параметров почвенного плодородия является кислотность среды (рН почвенного раствора). Ниже представлено влияние изучаемых сорбентов на кислотность двух типов почв после закладки опыта и через несколько дней компостирования:

Таблица. 2.

Влияние сорбентов на кислотность почв

Вариант	рН
Агродерновоподзолистая	7,73
Агродерновоподзолистая +уголь	6,84
Агродерновоподзолистая + ц/б сорбент	6,88
Чернозем	7,88
Чернозем +уголь	7,62
Чернозем+ ц/б сорбент	7,61

Как видно из таблицы, агродерновоподзолистая почва и чернозем имеют слабощелочную среду, близкую к нейтральной. Биоуголь изготовленный из древесины берёзы понижает рН двух типов почв, однако чернозем остается слабощелочным, а агродерновоподзолистая почва имеет слабокислую среду. То есть интенсивность влияния угля зависела от типа почвы. Почвы с внесением сорбента, изготовленного при использовании электрогидравлической технологии при роспуске бумажной макулатуры и картона, показали похожий результат, однако интенсивность влияния сорбента зависела от типа почв, рН агродерновоподзолистой почвы стал меньше 7, а рН чернозема остался слабощелочным. Биоуголь и минерально-целлюлозный сорбент понизили кислотность для каждого видов почв по отдельности практически на равное количество единиц. Кислотность почв с внесенными органическими сорбентами более приближены к нейтральной, чем данные типы почв без их добавления.

Так же в ходе эксперимента оценивалась динамика почвенного дыхания, на рис. 1 представлена динамика выделения CO₂ из различных вариантов опытов.

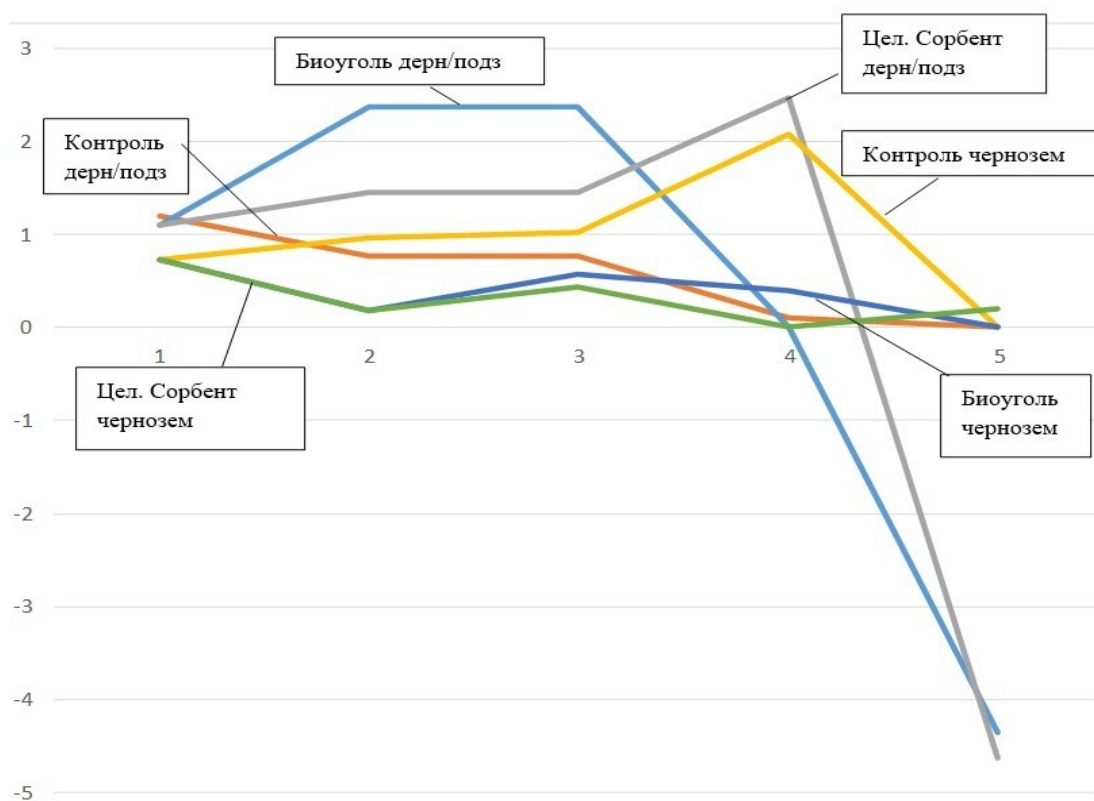


Рис. 1. Влияние изучаемых сорбентов на почвенное дыхание

Как видно из рисунка 1, динамика дыхания двух типов почв была различна, дерновоподзолистая почва в ходе компостирования постепенно теряла интенсивность дыхания. Чернозем характеризовался стабильностью выделения CO_2 , однако на 4 день интенсивность дыхания резко увеличилась, а на 5 день резко упала.

Внесение сорбентов влияло на изучаемые типы почв по-разному. Внесение органических сорбентов в чернозем постепенно снизило интенсивность дыхания. Дыхание агродерновоподзолистой почвы с внесением биоугля возрастало по показателям первых трех дней, а затем резко снизилось. Дыхание этого типа почвы с внесением минерально-целлюлозного сорбента характеризовалось постепенным увеличением CO_2 , однако на 4 день интенсивность дыхания резко увеличилась, а на 5 день резко упала. Таким образом, внесение биоугля и минерально-целлюлозного сорбента повлияло на почвенное дыхание двух типов почв по-разному.

Так же в ходе проведенного эксперимента, для оценки биологической активности почвенной биоты, был использован аппликационный метод разложения льняных полотен.

Поскольку эксперимент был проведен в контролируемых лабораторных условиях различия в скорости разложения льняной ткани определялись не влажностью субстрата и температурой окружающей среды, а интенсивностью

жизнедеятельности почвенных микроорганизмов и влиянием на них внесенных в почвенные образцы сорбентов.

Влияние изучаемых сорбентов на скорость разложения льняных полотен представлено на рисунке 2.



Рис. 2. Влияние изучаемых сорбентов на скорость разложения льняных полотен

Как видно на рисунке 2 внесение сорбентов влияло на изучаемые типы почв по-разному. Агродерновоподзолистая почва характеризуется более низкой скоростью разложения льняных полотен. Внесенные в нее сорбенты поспособствовали увеличению скорости разложения ткани. При этом минерально-целлюлозный сорбент увеличил скорость разложения льняного полотна больше, чем уголь.

Чернозем характеризуется исходно более высокой биологической активностью без добавления сорбентов. С добавлением каждого из видов сорбентов скорость разложения льняных полотен уменьшилась. Масса льняного полотна в почве с минерально-целлюлозным сорбентом уменьшилась незначительно.

Заключение.

Величина показателя рН почвы влияет на степень доступности питательных веществ во всех видах почв. Наиболее подходящими для сельскохозяйственных целей принято считать нейтральные и слабокислые почвы. Изучаемые сорбенты с различной интенсивностью способствовали нормализации рН почв.

Состояние почвенной микрофлоры оценивалось по дыханию почвы и по скорости разложения льняных полотен. агродерновоподзолистая почва и агрочернозем характеризовались исходно разным уровнем интенсивности почвенного дыхания.

Внесение минерально-целлюлозного сорбента и биоугля в дерновоподзолистую почву привело к сорбции CO₂ и его дальнейшему поглощению мелиорантом; чернозем данным образом на внесение мелиорантов не реагировал. Видимо эта особенность обусловлена меньшей емкостью почвенного поглощающего комплекса в более бедной дерново-подзолистой почве.

В черноземе дыхание почв при внесении сорбентов было снижено относительно контроля. Возможно, это связано с поглощением CO₂ внесенными веществами. Так же предполагается снижение общей интенсивности биологических процессов, с одновременной пролонгацией происходящих реакций, что в полевых условиях может способствовать более полному использованию веществ из вносимых туков удобрений.

Влияние изучаемых сорбентов на скорость разложения льняных полотен было различным. Агродерновоподзолистая почва характеризуется низкой скоростью разложения льняных полотен. Сорбенты способствовали увеличению скорости разложения ткани. Чернозем характеризуется высокой биологической активностью без добавления сорбентов. С добавлением каждого из видов сорбентов скорость разложения льняных полотен уменьшилась.

Библиографический список

1. Лотош В.Е. /Экология природопользования / Лотош В.Е. / учебное издание УрГУПС, 2002. – 554 с.
2. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2018 году. – Обнинск: ФГБУ НПО «Тайфун». – 2019. – 121 с.
3. ГОСТ 17.4.1.02-83 Охрана природы. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. М.: Стандартинформ, 2008. 4 с.
4. Байкенова Ю. Г., Байкин Ю. Л., Эффективность технологий экогеохимической рекультивации почв (ТЭРП), загрязненных тяжелыми металлами (ТМ) // Аграрный вестник Урала. 2015. № 4 (134). С. 10-14.
5. Рижия Е.Я / Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчанной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) / Рижия Е.Я., Бучкина Н.П., Балашов Е.В., Белинец А.С, Мухина И.М./ Почвоведение, 2015. Т. 48. № 2. С. 211-220.
6. Гребёнкин А.Н., / Исследование возможности применения электрогидравлической технологии в процессах роспуска макулатуры/ Гребёнкин А.Н., Демидов А.В., Гребёнкин А.А., Соколов В.П./ Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки., 2013. № 1. С. 55-57.

Сведения об авторах

ФИО Воронина К.А.
Организация Санкт-Петербургский государственный университет
промышленных технологий и дизайна
Адрес 191186, ул. Большая Морская, д. 18, Санкт-Петербург,
506

организации Россия
SPIN-код отсутствует
e-mail Kseniya_voronina@mail.ru

ФИО Дурова А.С.
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
организации
SPIN-код отсутствует
e-mail 21.01.1990@mail.ru

Аннотация

Изучен биологический ответ двух типов почв (дерновоподзолистой почвы и чернозема) на внесение березового биоугля и сорбента, изготовленного из отходов целлюлозно-бумажной промышленности. Изучены биологические особенности данных типов почв.

Ключевые слова: почва, сорбент, биоуголь, целлюлозный сорбент, биологические характеристики почв, чернозем, дерновоподзол.

УДК 631

Разделы рубрикатора ГРНТИ 68.05.45

Применение метода льняных полотен с целью изучения биологических характеристик почв при использовании березового угля и целлюлозного сорбента

Дурова А.С., Пашквская А.Д., Нагиев Э.Э.

Почва является одной из наиболее плотно заселенных сред обитания организмов. Основные обитатели почв – бактерии, актиномицеты, плесени, дрожжи, протозоа и водоросли, которых принято называть геобионтами, а также насекомыми и их личинками, нематодами и другими червями. [1]

Большинство почвенных микроорганизмов – сапрофиты. К более или менее постоянным видам почвенной микрофлоры относятся: сапрофитные формы (*Micrococcus albus* M. *Candidas*, M. *Cerens*, M. *Flavus*, M. *Roseus*) спороносные анаэробы, спороносные аэробы (*B. Mycoides*, *B. Subtilis*, *B. Megaterium*, M. *Mesentericus* и др.), термофильные бактерии, пигментные и непигментные не споровые бактерии. В почве содержатся также азотфиксирующие, нитрифицирующие, денитрифицирующие, целлюлозорасщепляющие бактерии, серобактерии и др. [2]

Известно, что в щелочных почвах обитают в основном бактерии, а в кислых (торфяных, болотистых, подзолистых) – плесневые и другие грибы. Благодаря жизнедеятельности многочисленных видов микрофлоры в почве постоянно совершаются биохимические процессы (разложение органических веществ), что имеет большое агротехническое и санитарное значение. [3]

Признаком биологической деградации почвы является снижение жизнедеятельности почвенных микроорганизмов, о котором можно судить по уменьшению уровня активной микробной биомассы, а также по более распространенному, но менее точному показателю – дыханию почвы;

Достаточно точное представление о влиянии различных агротехнических приемов на интенсивность разрушения растительного материала дают методы учета биологической активности почвы по разложению естественных источников целлюлозы – соломы и льняного волокна

Метод льняных полотен показывает не только активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов, но и степень мобилизации азота в почве. Кроме того, определение интенсивности разложения растительного материала методом льняных полотен более объективно отражает состояние и активность микрофлоры почвы в естественных условиях поля, чем учет микроорганизмов чашечным методом на питательных средах в лабораторных условиях. [4]

На базе кафедры почвоведения и лесных культур был поставлен и проведен лабораторный эксперимент, в ходе которого было изучено влияние двух типов сорбентов, произведенных из отходов древесной и целлюлозно-бумажной промышленности на реакцию почвенного микробоценоза (оценивалась скорость и интенсивность разложения льняных полотен в почвах и субстратов при внесении сорбентов и без них).

В эксперименте участвуют четыре типа почв и органических субстратов,

1. Дерново-подзолистая почва из древесного питомника, (г. Гатчина)
2. Чернозем с пахотных полей (Краснодарский край)
3. Вермикомпост свежий из конского навоза и отходов овощей и фруктов
4. Торфо-минеральная смесь

Лабораторный эксперимент проводился в контролируемых лабораторных условиях (при контролируемой температуре и влажности как воздуха, так и компостируемых образцов) в течение 28 календарных дней

Использовались следующие органические сорбенты:

1 – Биоуголь изготовленный из древесины берёзы. Биологическим углем (биоуглем) принято называть материал, получаемый из древесины и органических отходов путем пиролиза при температуре 300–800°C без доступа кислорода [5].

2 – Сорбент, изготовленный при использовании электрогидравлической технологии при роспуске бумажной макулатуры и картона [6].

При постановке описываемого эксперимента использовался метод льняных полотен, адаптированный для использования в контролируемых лабораторных условиях.

В ходе подготовки началу эксперимента были вырезаны стерильные полосы тонкой суровой льняной ткани шириной около 5 см. и длиной около 22 см. Полосы ткани закреплялись на сетчатой ленте для удобства оценки степени разложения ткани в конце эксперимента. Затем каждая полоска ткани была взвешена и стерилизована (утюгом и спиртом). В каждый сосуд, участвующий в эксперименте, помещалось по одной полоске ткани таким образом, чтобы площадь взаимодействия ткани и почвы была равномерной и максимальной площади.

Через 28 календарных дней полотна осторожно извлекли и, оберегая от механических повреждений, отмыли от почвы и продуктов полураспада, затем подсушили до постоянного веса на воздухе сфотографировали и взвесили. [7]

Ниже приведена наиболее часто применяемая шкала интенсивности разрушения клетчатки (%) за вегетационный период. [7]

- очень слабая – менее 10%
- слабая – 10-30%
- средняя – 30-50%
- сильная – 50-80%
- очень сильная – более 80%

Один из наиболее важных наблюдаемых процессов – различная скорость разложения льняной ткани в почвах и субстратах разного происхождения, представлена на рис. 1.

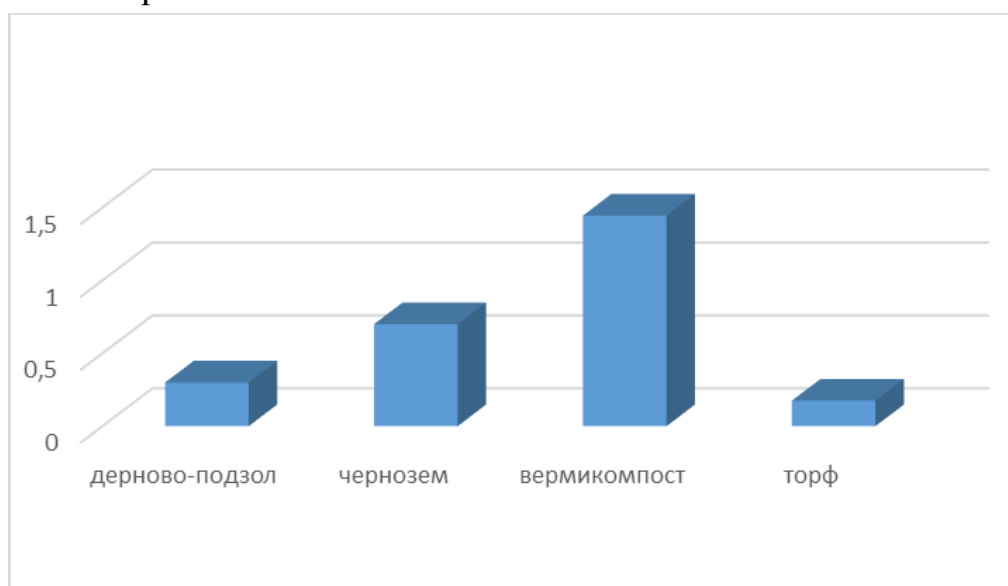


Рис. 1. Интенсивность разложения ткани в различных типах почв и субстратов

Наиболее высокой биологической активностью характеризовался свежий вермикомпост, наименьшей – торфо-минеральная смесь. Почвы по данному параметру занимали промежуточное положение. При этом биологическая активность чернозема была в два раза выше чем в дерново-подзолистой почве.

Поскольку изучаемые объекты изначально обладали совсем разным набором почв обитающих организмов, неудивительно что и внесение сорбентов приводило к различным биологическим реакциям в данных почвах и субстратах: (рисунок 2).

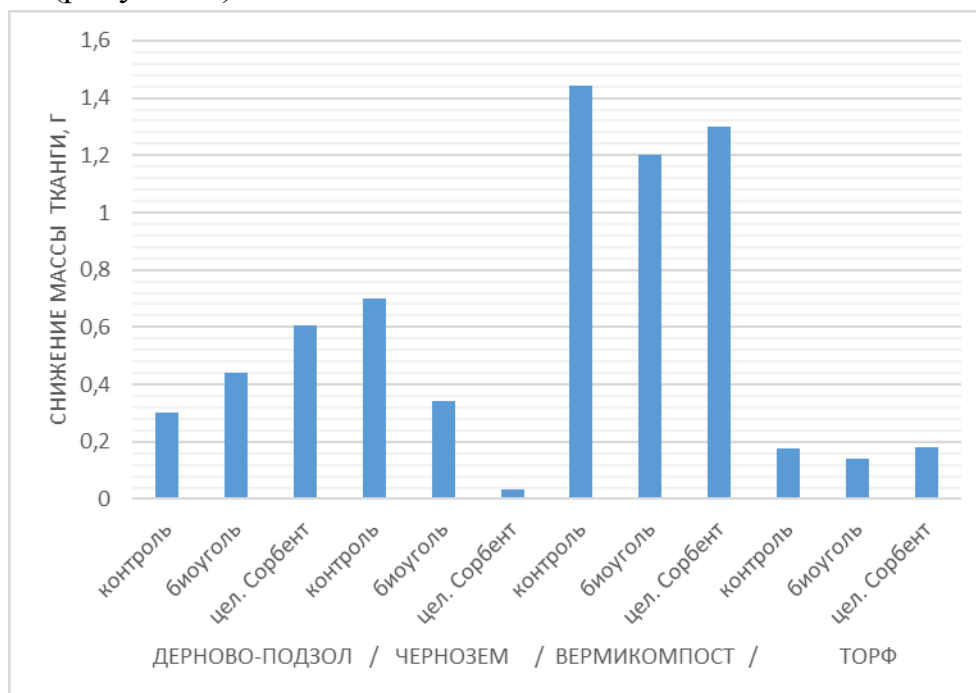


Рис. 2. Влияние сорбентов на скорость разложения льняных полотен

Различные почвы и субстраты характеризовались разной, порой противоположной реакцией на внесенные сорбенты.

Наиболее биологически активный вермикомпост при внесении как березового биоугля, так и целлюлозно-бумажного сорбента снижало биологическую активность. Видимо, сорбция биологически активных веществ при внесении как березового угля, так и целлюлозно-бумажного сорбента, снизило интенсивность биологической активности вермикомпоста и снизило скорость переработки органики в субстрате. При применении вермикомпостов снижение разового влияния на биологические параметры почвы и увеличение длительности биологического ответа почв может увеличить эффективность использования вермикомпостов и других биологически активных органических веществ.

Торфо-минеральная смесь, не смотря на оптимальное соотношение доступных элементов и оптимальную кислотность среды, содержит наименьшее количество микроорганизмов. При этом внесение сорбентов не

влияло на биологическую активность данного субстрата. Применение сорбентов при использовании торфо-минеральных смесей может быть эффективно только при внесении органических удобрений, усиливающих биологическую активность исходного субстрата.

Агродерново-подзолистая почва и агрочернозем реагировали на внесенные сорбенты по-разному. Интенсивность биологических процессов в черноземе снижалась при внесении как угля, так и целлюлозно-бумажного сорбент; дерново-подзолистая почва напротив, усиливала биологическую активность как при внесении угля, так и при внесении целлюлозно-бумажного сорбента.

Таким образом, можно сделать вывод о перспективности внедрения изучаемых почвенных сорбентов для очистки почв и субстратов самого различного происхождения.

Биоуголь характеризуется меньшим, но более длительным эффектом (биологическая активность снижается в меньшей степени относительно контроля) и больше подходит для оптимизации углеродного цикла и снижении воздействия загрязнителей на более бедных почвах, в условиях слабого загрязнения.

Эффективность целлюлозно-бумажного сорбента выше, как и его скорость разложения в почвах и субстратах. Данный сорбент оптимален в условиях локальных загрязнений, при дополнительной стимуляции органическими и минеральными удобрениями способствует резкому развитию биологической активности и усилению самовосстановления почв в течение нескольких недель или месяцев.

Снижение биологической активности агрочернозема, по-видимому, можно объяснить неверно подобранными концентрациями внесённых сорбентов, так как эффект от внесения (снижение биологической активности) пропорционален аналогичному всплеску на дерново-подзолистой почве; для подбора оптимальных доз сорбентов на высокоплодородных почвах требуются дальнейшие исследования.

Библиографический список

1. А. П. Макарова, Е. В. Напрасникова. /Микробиота и биологическая активность почв Окинской котловины (Восточный Саян)/ Известия Иркутского государственного университета; Серия «Биология. Экология» 2016. Т. 17. С. 45–50
2. Гоголева О.А. Углеродородокисляющие микроорганизмы природных экосистем / О.А. Гоголева, Н.В. Немцева // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН, 2012 – №. 2
3. Методы выделения, изучения и культивирования микроорганизмов: учебно-методическое пособие / Т.И. Громовых [и др.]. – Красноярск: 2002
4. Кочиш И. И., Калюжный Н. С., Волчкова Л. А., Нестеров В. В.. Зоогигиена: Учебник / Под ред. И. И. Кочиша. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 464 е.: ил.. 2008

5. Рижия Е.Я / Влияние биоугля на свойства образцов дерново-подзолистой супесчанной почвы с разной степенью окультуренности (лабораторный эксперимент) / Рижия Е.Я., Бучкина Н.П., Балашов Е.В., Белинец А.С, Мухина И.М./ Почвоведение, 2015. Т. 48. № 2. С. 211-220.
6. Гребёнкин А.Н., / Исследование возможности применения электрогидравлической технологии в процессах роспуска макулатуры/ Гребёнкин А.Н., Демидов А.В., Гребёнкин А.А., Соколов В.П./ Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки, . 2013. № 1. С. 55-57.
7. Методы почвенной микробиологии и биохимии. Издательство МГУ им. М.В. Ломоносова, 1880 224 с.

Сведения об авторах

ФИО	Петросян В.В.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	21.01.1990@mail.ru

ФИО	Пашквская А.Д.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	rash-dima@ya.ru

ФИО	Нагиев Э.Э.
Организация	Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации	194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код	отсутствует
e-mail	soilbox@mail.ru

Аннотация

Применён метод льняных полотен с целью изучения биологических характеристик почв при внесении березового угля и целлюлозного сорбента. Изучены особенности почв, отобранных в различных климатических зонах. Оценена эффективность двух различных углеродсодержащих сорбентов.

Ключевые слова: почва, сорбенты, биологические характеристики почв, мелиоранты, уголь, целлюлозный сорбент.

УДК 631.421.2; 631.427.22

Разделы рубрикатора ГРНТИ 68.05.45

Экономическая эффективность привлечения волонтеров к посадкам леса

Мушкарова О.М., Михеева М.Ф., Бачериков И.В.

Введение

Ежегодная общественно – экологическая акция, направленная на воспитание бережного отношения к российскому лесу, привлечение внимания общества к проблемам сохранения, восстановления и приумножения лесных богатств, популяризацию лесного хозяйства Всероссийский день посадки леса, позволяет объединить самых разных людей в единой акции, преследующей благородную цель создания новых молодых лесов.

Акция Всероссийский день посадки леса была объявлена Федеральным агентством лесного хозяйства после природных пожаров 2010 года. За девять лет она превратилась в хорошую традицию.

Об акции широко сообщается в СМИ. Лесничества берут на себя определение участков для посадки, готовят почву, обеспечивают посадочным материалом. Добровольцам выдается инвентарь, проводится инструктаж, как правильно посадить дерево.

Добровольцы или волонтеры, с точки зрения закона Российской Федерации – это «физические лица, осуществляющие добровольческую деятельность в форме безвозмездного выполнения работ, оказания услуг (добровольческой деятельности)». Волонтерский труд не оплачивается, однако организаторы работ на добровольной основе могут оплачивать волонтерам проезд, проживание, питание.

Несомненно, что привлечение добровольческого труда в первую очередь ставит задачи обеспечения краткосрочных акций, требующих участия значительного числа исполнителей. Периодичность и краткосрочность мероприятий обуславливает неэффективность использования труда профессионально подготовленных работников, обладающих требуемыми компетенциями. В значительной степени добровольное участие в мероприятиях обусловлено интересом к возможностям получить навыки в видах деятельности, требующих проявления общественной активности и гражданской ответственности. Безвозмездное участие не означает бесплатности мероприятий.

Привлечение участия добровольцев в посадках леса требует обоснования экономической эффективности затрат, которые несут организаторы разнообразных акций с участием волонтеров.

Результаты исследования

Экономический эффект использования безвозмездного труда волонтеров может быть обусловлен суммой экономии трудозатрат, необходимых для выполнения посадок леса. Экономия трудозатрат измеряется величиной заработной платы с учетом страховых взносов (ЗП) профессиональных рабочих, выполняющих подобные работы. Эффективность использования труда добровольцев (\mathcal{E}) заключается в сопоставлении величины затрат заработной платы с учетом страховых взносов (ЗП) с величиной затрат ($Z_{в}$), необходимых для доставки волонтеров к месту работ ($Z_{дост.}$), затрат на питание ($Z_{п}$) и затрат на приобретение рабочих перчаток ($Z_{пер.}$)

$$\mathcal{E} = ZП - (Z_{дост.} + Z_{п} + Z_{пер.}) \geq 0, \quad (1)$$

При ЗП, превышающей сумму затрат на привлечение волонтеров, ($Z_{дост.} + Z_{п} + Z_{пер.}$), или их равенстве, проект может быть признан приемлемым и эффективным.

Проведём обоснование экономической оценки эффективности затрат труда добровольцев, которые могут быть привлечены к посадкам сосны обыкновенной на выделах Ленинградской области. Группа волонтеров из 50 человек участвует в посадке леса вручную с применением меча Колесова на подготовленных почвах площадью 2 гектара.

Расчет затрат на оплату труда

Затраты на оплату труда с включением страховых фондов (ЗП) на посадках леса рассчитываются на основании нормативных технологических карт (НТК) создания 1 га лесных культур сосны обыкновенной для условий Ленинградской области, разработанных на кафедре лесной политики и управления СПбГЛТУ [1]

Нормативы затрат на оплату труда ($ZП_{н}$) по трудозатратам (T), принятым в НТК и действующим тарифным ставкам, скорректированным с учетом величины прожиточного минимума на 2019 год, представлены в таблице 1.

Потребный объем человеко-часов, необходимый для посадки сосны обыкновенной на 2 гектарах составит (T):

$$T = H \cdot S, \quad (2)$$

где H – затраты труда на 1 га площади посадок, чел.- час; S – площадь работ, га,

$$T = 33,33 \text{ чел.-час./ га} * 2,0 \text{ га} = 66,66 \text{ чел.-час}, \quad (3)$$

Таблица 1.

**Нормативы затрат на оплату труда при посадках
сосны обыкновенной на 1 га площади**

Технологическая операция	Единица измерения	Объём работ на 1 га	Орудия посадки	Норма выработки на 1 чел.-час	Затраты труда на 1 га. (Т)	Состав звена, разряд	Затраты на оплату труда и страховые взносы на 1 га, руб. (ЗП _н)
Посадка культур по холмикам или пластам	Тыс. штук	3,0	Меч Колесова	0,09 тыс. шт.	33,33 чел.-час.	1 чел. 4 разр.	8841,0

Затраты на оплату труда и страховые взносы на 1 га профессиональных рабочих 4 разряда при нормативных трудозатратах составят:

$$ЗП = 8841,0 \text{ руб.} * 2 \text{ га} = 17682,0 \text{ руб.} \quad (4)$$

Потребный объем часов на требуемый объем работ ($T_{в}$), который выполнят 50 человек-волонтеров, составит:

$$T_{в} = 66,6 \text{ чел.-час.} / 50 \text{ чел.} = 1,33 \text{ час.} \quad (5)$$

Рассчитанный объем часов следует скорректировать на различия в квалификации профессиональных рабочих и новичков и принять требуемое время в размере 2,5 часа.

Расчет затрат на привлечение волонтеров

Для доставки 50 человек волонтеров необходима аренда автобуса соответствующей вместимости.

Обзор рыночных предложений автобусных предприятий г. С-Петербурга (таблица 2) позволяет выбрать вариант аренды автобуса марки Yutong вместимостью 51 человек. При аренде не менее 4+1 часа стоимость 1 часа составляет 1 250 рублей. [2, 3, 4].

Таблица 2.

Тарифы аренды автобусов в г. Санкт Петербурге

Фирма	Марка автобуса	Вместимость, чел.	Стоимость 1 часа, руб.
ООО СПбТрансБас	Yutong	54	1900
ООО СПбТрансБас	Вольво	52	1600
ООО СПбТрансБас	Марко Поло	50	1500
Группа компаний Дормал	Yutong	50	2500
ООО «БизнесБас»	Yutong	51	1250

Рассчитанный выше потребный фонд времени на посадку семян и необходимое время на питание не менее 30 минут, а также затраты времени на

доставку волонтеров на работу и обратно, определяет время аренды автобуса не менее 5 часов. Следовательно, вариант аренды автобуса марки Yutong фирмы BBUS следует рассматривать как наиболее приемлемый.

Затраты на аренду автобуса составят ($Z_{пр}$):

$$Z_{пр.} = 1250 \text{ руб./час} * 5 \text{ час.} = 7250 \text{ руб.} \quad (6)$$

Затраты на питание волонтеров ($Z_{п.}$) в полевых условиях можно принять из расчета 200 рублей на 1 человек. Общая сумма затрат на питание составит:

$$Z_{п.} = 200 \text{ руб./чел.} * 50 = 10000 \text{ руб.} \quad (7)$$

Затраты на приобретение рабочих перчаток составят:

$$Z_{пер.} = 8 \text{ руб./чел.} * 50 \text{ чел.} = 400 \text{ руб.} \quad (8)$$

Общая сумма затрат ($Z_{в}$) составит:

$$Z_{в} = 7250 \text{ руб.} + 10000 \text{ руб.} + 400 \text{ руб.} = 17650 \text{ руб.} \quad (9)$$

Расчеты показывают, что суммарные затраты на доставку и организацию питания составят 17650 рублей, что сопоставимо с затратами на оплату труда профессиональных рабочих – 17682 рубля.

Проведенные расчеты подтверждают экономическую целесообразность привлечения волонтеров к посадкам леса, которые за 2,5 часа выполняют объем работ, на который профессиональному рабочему потребуется чуть более 8 рабочих дней. Экономический эффект подобных мероприятий является дискуссионным вопросом, поскольку данных по оценке качества созданных лесных культур волонтерами нет, а профессионально созданные лесные культуры из-за отсутствия лесоводственных уходов могут гибнуть или списываться (33% площади от заложенных культур).

В большей степени, чем экономический эффект, следует воспринимать воспитательную функцию подобных акций, особенно для студентов и сотрудников Санкт-Петербургского лесотехнического университета. Следует признать необходимость привлекать студентов к дальнейшим работам по уходу за посадками, которые возможны на условиях продолжения добровольного движения восстановления лесов.

Библиографический список

1. Установление платы по договору купли – продажи лесных насаждений. Учебное пособие/Петров В.Н. и др.- СПб.:СПбГЛТУ, 2018. – 64 с.
2. Сайт ООО СПбТрансБас, URL: <http://www.transbus-spb.ru> Режим доступа: свободный. Дата обращения: 18.01.2020
3. Сайт Группа компаний Дормал, URL: <http://spb.razvozka.dormall.ru> Режим доступа: свободный. Дата обращения: 18.01.2020

4. Сайт ООО «БизнесБас», URL: <http://spb.bbush.ru> Режим доступа: свободный. Дата обращения: 18.01.2020

Сведения об авторах

ФИО Мушкарова Ольга Михайловна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 4445-8324
e-mail olgamuschkarova@ya.ru

ФИО Михеева Мария Федоровна
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 8688-2020
e-mail mihchermar@ya.ru

ФИО Бачериков Иван Викторович
Организация Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет имени С.М. Кирова
Адрес организации 194021, Институтский пер., д. 5, Санкт-Петербург, Россия
SPIN-код 7210-3600
e-mail ivashka512@gmail.com

Аннотация

В статье определены условия экономической эффективности привлечения добровольцев к посадкам леса. В статье сопоставляются затраты, которые несут организаторы посадок леса с участием волонтеров, и величина эффекта использования добровольческого труда на примере создания лесных культур сосны обыкновенной для условий Ленинградской области. Экономическая эффективность обеспечивается сопоставимостью затрат на привлечение волонтеров и суммой экономии затрат на оплату труда профессиональных рабочих, выполняющих равный объем работ за более длительный период рабочего времени.

Ключевые слова: посадки леса, волонтеры, добровольцы, безвозмездный труд, лесные культуры, экономия трудозатрат.

УДК 630*

Разделы рубрикатора ГРНТИ 68.47.75

ДЛЯ ЗАМЕТОК

Научное издание

**НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
ПО ИТОГАМ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТ 2019 года**

Материалы научно-технической конференции