

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»



ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ДИЗАЙН

**Материалы докладов
86-й научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных сотрудников и аспирантов**

31 января – 12 февраля 2022 года

Минск 2022

УДК [630*3+620.22+658.512.2]:005.745(06)(034.2)
ББК 43.90+30.2/3я43
Л 50

Лесная инженерия, материаловедение и дизайн : материалы 86-й науч.-техн. конф. профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 31 января – 12 февраля 2022 г. [Электронный ресурс] / БГТУ. – отв. за издание И. В. Войтов; УО «БГТУ». – Минск : 2022. – 305 с. ISBN 978-985-530-990-2

В сборнике приведены результаты научных исследований и научно-исследовательских работ, выполненных профессорско-преподавательским составом, сотрудниками и аспирантами факультета лесной инженерии, материаловедения и дизайна, а также других ВУЗов, организаций и ведомств в 2021 году.

Предлагаемые для открытой печати материалы, направлены на решение достаточно актуальных теоретических и прикладных задач проектирования и эксплуатации лесозаготовительного буродования и лесных машин. Они включают разработку высокоэффективных ресурсосберегающих технологий лесозаготовок и деревообработки, а также позволяют усовершенствовать конструкции и способы строительства лесных автомобильных дорог. В работах ряда исследователей рассматриваются вопросы общетехнического характера, направленные на разрешение отраслевых проблем. В частности, авторы обосновывают применение нового дереворежущего инструмента, конкурентоспособных материалов и композитов, направления рационального и комплексного их использования.

Полученные результаты показывают, что в основном представленные разработки прошли проройзводственную апробацию. Все это позволяет сделать вывод о их полезности специалистам практикам лесной и деревообрабатывающей промышленности, а также лесного машиностроения и станкостроения, проектирования, строительства и эксплуатации автомобильных дорог.

Рецензенты: Черная Н.В., д-р техн. наук, профессор
Вавилов А.В., д-р техн. наук, профессор
Лыщик П.А., канд. техн. наук, профессор

Главный редактор
ректор, д-р техн. наук, профессор Войтов И.В.

ISBN 978-985-530-990-2

© УО «Белорусский государственный
технологический университет», 2022

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Хорошун Н.В., Насковец М.Т., Минтюк О.П.</i> Опыт формирования и пути совершенствования товарной политики в маркетинговой деятельности СП ЗАО «МАЗ-МАН».....	8
Подсекция «ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»	
<i>Гончаров И.Н., Голякевич С.А.</i> Моделирование и оценка опорной проходимости облегченной пожарной автоцистерны с централизованной подкачкой шин с учетом динамики ее движения.....	11
<i>Голякевич С.А., Протас П.А., Мохов С.П.</i> Анализ структуры и технического состояния парка харвестеров в лесохозяйственных учреждениях Республики Беларусь.....	15
<i>Голякевич С.А., Мисуно Ю.И., Кононович Д.А.</i> Анализ статистических данных об условиях эксплуатации лесозаготовительных машин в Республике Беларусь.....	19
<i>Голякевич С.А., Гороновский А.Р., Пищов С.Н.</i> Моделирование электросилового привода малогабаритного лесохозяйственного трактора.....	23
<i>Кононович Д.А., Мохов С.П., Голякевич С.А., Арико С.Е.</i> Анализ эффективности применения различных базовых шасси для сбора лесосечных отходов.....	27
<i>Кононович Д.А.</i> Обоснование конструкции технологического оборудования для сбора лесосечных отходов на основе энергетического потенциала.....	30
<i>Григорьева О.И., Гринько О.И., Григорьев И.В.</i> Моделирование развития многокомпонентной лесной экосистемы после лесного пожара.....	34
<i>Рудов С.Е., Григорьева О.И., Григорьев И.В.</i> Эффективное восстановление лесов на вечной мерзлоте.....	38
<i>Давтян А.Б., Григорьева О.И., Гринько О.И., Григорьев И.В.</i> Энергетические лесные плантации для эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения в РФ.....	42
<i>Каляшов В.А., Куницкая О.А., Григорьева О.И.</i> Современные технологии и системы машин для заготовки древесины на склонах.....	46
<i>Беляев Н.Л., Куницкая О.А.</i> Современные технологии оптического группового учета круглых лесоматериалов.....	50
<i>Зорин М.В., Куницкая О.А.</i> Современные сборно-разборные покрытия для строительства временных лесных дорог и технологических коридоров.....	54
<i>Борозна А.А., Насковец М.Т., Сушков Е.О., Филлипович И.Ф.</i> Увеличение ресурса и повышение энергоэффективности узлов и агрегатов транспорта в лесном комплексе при использовании многоэтапной технологии без разборного ремонта.....	58
<i>Насковец М.Т., Борозна А.А., Жарков Н.И., Жлобич П.Н.</i> Совершенствование конструкций и технологий устройства подъездных путей к лесохозяйственным магистралям.....	63
<i>Насковец М.Т., Жарков Н.И., Жлобич П.Н.</i> Производственная апробация конструктивно-технологических решений на опытном участке в Осиповичском опытном лесхозе.....	65
<i>Насковец М.Т., Жлобич П.Н., Четырбок А.Н.</i> Технологические аспекты формирования оснований подъездных путей с упрочняющими прослойками.....	67

<i>Четырбок А.Н.</i> Тенденции использования стеклотканей при устройстве и содержании лесотранспортных путей.....	69
<i>Жлобич П.Н.</i> Формирование структурной схемы банка данных лесных дорог...	73
<i>Насковец М.Т., Россоха Е.В., Хорошун Н.В., Сеница Э.В.</i> Перспективная система машин для вывозки и транспортировки заготовленной древесины....	76
<i>Лой В.Н., Германович А.О., Чернявский В.В.</i> Составляющие производственного цикла работы мобильной рубильной машины.....	80
<i>Шошин А.О.</i> Математическое описание процесса трелевки древесины мобильной канатной трелевочной установкой в заболоченных условиях.....	82
<i>Шошин А.О., Ярмолик С.В., Штолманн В. Максимцова А.В.</i> Обоснование выбора мобильной канатной трелевочной установки для работы в заболоченных условиях.....	85
<i>Вилунов Е.С., Мисуно Ю.И.</i> Оценка применения системы автоматизированного учета лесоматериалов в лесозаготовительном производстве Беларуси.....	89
<i>Протас П.А., Ледницкий А.В., Мисуно Ю.И.</i> Анализ и направления использования древесных ресурсов в Республике Беларусь.....	94
<i>Протас П.А., Евкович И.А.</i> Рекомендации по эффективному освоению лесосек в сложных эксплуатационных условиях.....	98
<i>Протас П.А., Панкратович А.С.</i> Параметры лесосек и их технологических элементов в различных эксплуатационных условиях.....	101
<i>Панкратович А.С.</i> Анализ размещения технологических элементов на лесосеке.....	104
<i>Науменко А.И., Лыщик П.А., Скворцов Д.А.</i> Применение вторичного сырья при строительстве лесных автомобильных дорог.....	108
<i>Бавбель Е.И., Лыщик П.А., Петрович К.А.</i> Трассирование магистральных лесных автомобильных дорог на основе CREDO-технологий.....	112
<i>Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Жолудев Е.А.</i> Анализ технических норм проектирования лесных автомобильных дорог.....	115
<i>Ким Ю.А., Насковец М.Т., Жарков Н.И., Гиль В.И.</i> Способы регулирования давления воздуха в шинах колес машин с повышенной проходимостью.....	118
<i>Ким Ю.А., Насковец М.Т., Жарков Н.И., Гиль В.И.</i> Технические решения для системы централизованной накачки шин (ЦНШ) машин повышенной проходимости.....	121
<i>Исаченков В.С., Леонов Е.А., Гарабашу А.А., Квит К.В., Клоков Д.В.</i> Особенности математического моделирования комбинированного технологического оборудования колесной трелевочной машины с шарнирно-сочлененной рамой.....	124
<i>Исаченков В.С., Арико С.Е., Симанович В.А., Пархимович М.И.</i> Обоснование выбора безчечерного технологического оборудования колесной трелевочной машины с шарнирно-сочлененной рамой.....	126
<i>Исаченков В.С., Гиль В.И., Бобрович В. А., Войтеховский Б.В., Пашкевич И.И.</i> Основные аспекты моделирования трелевочной машины на базе колесного шасси с жесткой рамой.....	128
<i>Исаченков В.С., Красковский С.В., Ращупкин С.В., Бобровский С.Э., Романенко Н.А.</i> Выбор рациональной модели системы «Кабина – сиденье – водитель» при имитационном моделировании колесных трелевочных машин.....	130

<i>Короленя Р.О.</i> Эвристический подход к определению месторасположения промежуточного склада при двухступенчатой транспортировке древесины.....	132
<i>Короленя Р.О., Третьяк А.Д., Кмита К.С.</i> Сравнительный анализ методов решения задач оптимизации лесных грузопотоков.....	136
<i>Короленя Р.О., Гриневич К.А.</i> Имитационное моделирование одномашинных лесопромышленных систем.....	138
<i>Короленя Р.О., Гриневич К.А.</i> Транспортировка древесины сортиментовозами: граф состояний.....	141
<i>Лащенко А.П., Короленя Р.О.</i> Кейс по оптимальному распределению песчано-гравийной смеси из карьеров к строящимся лесным автомобильным дорогам...	145
<i>Лащенко А.П.</i> Учет фактора времени воздействия автопоездов на покрытие автомобильной дороги.....	148
<i>Леонов Е.А., Игнатенко В.В., Клоков Д.В.</i> Оценка применения двухступенчатой трелевки по критерию удельной производственной себестоимости.....	150
<i>Духовник А.А., Арико С.Е.</i> Исследование влияния таксационных показателей сосны обыкновенной на параметры кроны.....	153
<i>Чудинов С.А., Верхоляк А.О.</i> Ландшафтное проектирование автомобильных дорог.....	156
<i>Досалиев К.С., Тоқсан А.Б., Асылбек А.Е.</i> Шлак – как исходный местный материал в дорожном строительстве.....	159
<i>Досалиев К.С., Тоқсан А.Б., Асылбек А.Е.</i> Физико-химические исследования шлаковых материалов для дорожного строительства.....	163

**Подсекция «ТЕХНОЛОГИИ И ОБОРУДОВАНИЯ
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ»**

<i>Леонович О.К., Короб А.Ю.</i> Формирование утепления ограждающих конструкций из перекрестно-сращенной древесины.....	169
<i>Леонович О.К., Мазало Н.А.</i> Исследование долговечности древесины, пропитанной антисептиками.....	173
<i>Дупанов С.А., Леонович О.К.</i> Формирование пьезопластиков из древесных опилок мореного дуба.....	176
<i>Трофимов С.П., Прохорчик С.А., Гайдук С.С., Ручкина Е.В.</i> Деревянное домостроение в современных условиях.....	179
<i>Гришкевич А.А., Алифировец Г.В.</i> Исследование структуры зуба млекопитающего грызуна для создания конструкции адаптивного инструмента.....	183
<i>Чуйков А.С., Рудак О.Г., Куневич В.О.</i> Использование процессов виртуального моделирования и визуализации при проектировании мебели.....	186
<i>Чуйков А.С., Игнатович Л.В., Рудак О.Г., Гордиевич Е.И.</i> Анализ возможности применения в производстве изделий из древесины энергосберегающих и экологически безопасных технологий.....	189
<i>Игнатович Л.В., Гордиевич Е.И., Куневич В.О., Билаш Л.Г.</i> Органолептический метод оценки качества мягкой мебели.....	192
<i>Гаранин В.Н.</i> Возможности использования вибрационного резания древесины...	195
<i>Игнатович Л.В., Гордиевич Е.И.</i> Оценка основных факторов покупательского спроса на мебель в Республике Беларусь.....	198

<i>Божелко И.К., Леонович О.К., Медвецкий А.И., Божско Д.В., Гончар А.Н.</i> Модификация фенолформальдегидных смол деполимеризованным гидролизным лигнином для производства фанеры.....	201
<i>Клепацкий И.К., Раповец В.В.</i> Влияние радиуса округления режущей кромки ножа фрезерно-брусующего станка на качество торцевого среза элемента технологической щепы.....	204
<i>Рудак О.Г.</i> Сравнительный анализ методик определения продолжительности начального прогрева пиломатериалов в ненасыщенной среде.....	207
<i>Рудак О.Г.</i> Прогрев пиломатериалов как один из методов фитосанитарной обработки древесины.....	210
<i>Гришкевич А.А., Гриневич С.А.</i> Теоретические исследования деформации оси когтевой завесы.....	213
<i>Божелко И.К., Коновалова А.А.</i> Отбеливание как способ повышения качества пилопродукции.....	216
<i>Чуйков А.С., Рудак О.Г., Куневич В.О.</i> Способы имитации взаимодействия человека с подвижными частями изделий деревообрабатывающей промышленности в условиях виртуального пространства.....	219
<i>Гришкевич А.А., Болочко Д.Л.</i> Теоретические исследования влияния осевого угла на энергетические показатели процесса фрезерования.....	222
<i>Дубоделова Е.В., Федосенко И.Г.</i> Исследование возможности применения биомассы древесины утилизируемых изделий для производства топлива.....	225
<i>Федосенко И.Г., Майсак В.О.</i> Испытание древесных топливных гранул, полученных из опилок от продольного раскроя бревен рамными пилами в Негорельском УОЛХ.....	228
<i>Наркевич А.Л., Полховский А.В., Шетько С.В., Прохорчик С.А.</i> Изучение кинетики нагрева формы при склеивании длинномерных изделий.....	231
<i>Аникеенко А.Ф., Машорипова Т.А.</i> Исследование мощностных характеристик процесса сверления ДСтП спиральными сверлами с различными технологическими параметрами.....	234
<i>Гайдук С.С., Прохорчик С.А.</i> Декоративные изделия из древесины.....	236
<i>Гайдук С.С.</i> Склеивание древесины различных пород.....	240
<i>Бобков А.В., Трофимов С.С.</i> Современные проблемы в области модификации древесины.....	242
<i>Мялицин А.В.</i> Низкотемпературная сушка древесины бука в ПАО «Бештау».....	246
<i>Дмитренков А.И., Никулин С.С., Никулина Н.С.</i> Сравнительный анализ применения олеиновой кислоты и отходов растительного масла для обработки древесины.....	249
<i>Жирнов А.Б.</i> Исследование прочностных характеристик лущеного шпона из березы плосколистной.....	252

Подсекция «ОБЩЕТЕХНИЧЕСКАЯ»

<i>Лось А. М., Блохин А.В., Сурус А.И., Ярмолик С.В.</i> Применение трособлочных систем для повышения запаса прочности крановых несущих металлоконструкций.....	255
<i>Блохин А.В., Пищов М.Н., Бельский С.Е.</i> Повышение характеристик усталости сплавов на основе алюминия комбинированной обработкой.....	259

<i>Блохин А.В., Адель Рашид, Бельский С.Е., Царук Ф.Ф.</i> Перспективы использования термоциклической обработки для повышения усталостной долговечности деталей из сплавов на основе алюминия.....	263
<i>Левитан В.Б., Пищов М.Н., Бельский С.Е., Вергейчик А.В.</i> Перспективы замены быстрорежущей стали полутеплостойкой штамповой с поверхностным упрочнением.....	266
<i>Сурус А.И., Пищов М.Н., Царук Ф.Ф., Блохин А.В., Лось А. М.</i> Анализ причин разрушения и технологии поверхностного упрочнения шлицевых валов.....	269
<i>Симанович В.А., Пищов М.Н., Царук Ф.Ф.</i> Анализ основных условий эксплуатации и распределения крутящих моментов в трансмиссии лесных машин.....	273
<i>Бельский С.Е., Царук Ф.Ф., Блохин А.В.</i> Исследование характеристик усталости штамповых сталей.....	275
<i>Раковец А.С., Куис Д.В., Свидуневич Н.А.</i> Методика оценки модифицирования серого чугуна наноструктурными присадками.....	278
<i>Раковец А.С., Куис Д.В., Свидуневич Н.А., Писаренко Л.З., Гордиенко Д.Д.</i> Особенности модифицирования серого чугуна, работающего в условиях частых термосмен.....	280
<i>Латушкина С.Д., Жоглик И.Н., Куис Д.В., Раковец А.С., Цынкович О.Ю., Кравченко А.С., Григорьев И.Е.</i> Влияние технологических параметров осаждения на структуру и показатели физико-механических свойств вакуумно-плазменных покрытий на основе высокоэнтропийных сплавов.....	282
<i>Куис Д.В., Степанкин И.Н., Поздняков Е.П. Свидуневич Н.А., Раковец А.С., Кравченко А.С., Гордиенко Д.Д.</i> Влияние режимов термохимической обработки на структурообразование и свойства модифицированных слоев стали 16MnCrS5.....	284
<i>Шейнерт В.А., Слуцкий А.Г., Калинин А.С., Куис Д.В., Григорьев И.Е.</i> Анализ и выбор сплавов для получения быстроохлажденных металлических элементов с неравновесной структурой.....	286
<i>Касперов Г.И., Курипченко М.Ю., Левкевич В.Е.</i> Сценарии возникновения аварийных ситуаций, приводящих к химическому загрязнению водных объектов.....	288
<i>Касперов Г.И., Курипченко М.Ю., Левкевич В.Е.</i> Методы оценки состояния поверхностных вод в системе мониторинга водных объектов.....	290
<i>Бельский С.Е., Царук Ф.Ф., Блохин А.В., Пищов М.Н., Adel Abdel Basset Rashid</i> Анализ кинетики физико-механических характеристик при проведении усталостных испытаний инструментальных сталей.....	292
<i>Бельский С. Е., Царук Ф.Ф., Блохин А.В., Пищов М.Н., Adel Abdel Basset Rashid</i> Особенности трансформации дислокационной структуры металлических материалов в процессе развития повреждаемости с напряжениями растяжения.....	296
<i>Ковальчук И.В., Пищов М.Н., Царук Ф.Ф., Лось А.М.</i> Исследование уровней виброускорений зубьев зубчатой передачи переднего ведущего моста трелевочного трактора на базе МТЗ.....	300
<i>Гарабажису А. А., Исаченков В. С., Клоков Д. В., Трусов В. С.</i> Основные параметры роторно-центробежного смесителя, влияющие на степень перемешивания в нем сухих сыпучих материалов.....	302

УДК 339.13

Н.В. Хорошун м.т.н, м.э.н., маркетинг – директор
(СП ЗАО «МАЗ-МАН»);

М.Т. Насковец доц., канд. техн. наук.; О.П. Минтюк, магистрант
(БГТУ, г. Минск)

ОПЫТ ФОРМИРОВАНИЯ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОВАРНОЙ ПОЛИТИКИ В МАРКЕТИНГОВОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ СП ЗАО «МАЗ-МАН»

Совместное белорусско-германское предприятие закрытое акционерное общество «МАЗ-МАН» – белорусский производитель современных большегрузных автомобилей европейского класса для региональных и международных перевозок, а также автомобилей специального народнохозяйственного назначения, к которым относятся грузовые автомобили для перевозки сортифта (рисунок 1), технических и пищевых жидкостей, пищевых продуктов, сыпучих материалов (рисунок 2), кранов и пр.

Договор о создании совместного предприятия между его учредителями был подписан 10 декабря 1997 г., а 5 марта 1998 г. было зарегистрировано совместное белорусско-германское предприятие закрытое акционерное общество «МАЗ-МАН». Уже в конце апреля 1998 года был собран первый автомобиль «МАЗ-МАН». В октябре того же года осуществлен пуск конвейерной линии по сборке грузовых автомобилей.

Учредителями предприятия выступили немецкий автомобильный концерн «MAN Nutzfahrzeuge AG» (г. Мюнхен), РУП «Минский Автомобильный Завод» (г. Минск), ЗАО АКБ «Трастбанк» (г. Минск) и другие.

СП ЗАО «МАЗ-МАН» стало первым в Республике Беларусь производителем грузовой автомобильной техники, соответствующей требованиям европейских правил и Директив, в том числе правилам ЕЭК ООН по нормам, регулирующим уровень выхлопа и шумности.

По сей день техника «МАЗ-МАН» соответствует всем действующим и перспективным требованиям европейских правил и Директив, в том числе правилам ЕЭК ООН по нормам Евро 5, Евро 6, ТР ТС 018/2011, ISO 9001 и другие.

Производственные мощности завода рассчитаны на выпуск до 3000 автомобилей в год. В настоящее время предлагается на рынке более 50 моделей грузовых автомобилей – это седельные тягачи, самосвалы и шасси с различной колесной формулой (8x8, 6x6, 6x4, 6x2, 4x2) под конкретные транспортные задачи и дорожно-климатические

условия для региональных и международных перевозок, строительной и специальной техники, фронтальных погрузчиков грузоподъемностью 2,0 - 3,0 тонн, с различным навесным оборудованием, снегоболотоходов двух модификаций.



Рисунок 1 – Автомобиль МАЗМАН 736559 с колесной формулой 6х6 и прицепа МАЗ-МАН 890001 для вывозки древесного сырья с верхнего или промежуточного лесопромышленного склад

Характеристики автомобиля МАЗМАН 736559 с колесной формулой 6х6 и прицепа МАЗ-МАН 890001 для вывозки древесного сырья представлены в таблице.

Таблица 1 – Характеристики автомобиля МАЗМАН 736559 и прицепа МАЗ-МАН 890001

Характеристики автомобиля МАЗ-МАН 736559	Значение показателя
Допустимая осевая нагрузка на передний мост, кг	8 000
Допустимая нагрузка на тележку, кг	32 000
Технически допустимая полная масса, кг	40 000
Снаряженная масса, кг	17 500
Геометрический объем перевозимого груза, куб.м	32,0
Количество коников, шт	4-6
Характеристики прицепа МАЗ-МАН 890001	Значение показателя
Допустимая осевая нагрузка на переднюю ось, кг	12 000
Допустимая осевая нагрузка на ведущий мост, кг	24 000
Полная масса прицепа, кг	36 000
Геометрический объем перевозимого груза, куб.м	44,0
Количество коников и стяжек, шт	4(6)

Совестное предприятие закрытое акционерное общество «МАЗ-МАН» за почти четверть вековую историю стал полноценным белорусским машиностроительным заводом. В настоящее время СП ЗАО «МАЗ-МАН» – это собственная конструкторская документации, современные технологии и оборудование, позволяющие создавать технику, способную удовлетворить существующие и будущие потребности клиента.



Рисунок 2 – Автомобиль MAZ-MAN 652559 и прицепа MAZ-MAN 890002 для перевозки щебы

Для транспортировки сыпучих грузов СП ЗАО «МАЗ-МАН» предлагает рынку грузовые автомобили MAZ-MAN 652559 и прицепы MAZ-MAN 890002, при производстве которых применяются высокотехнологичные кузова, изготовленные из алюминиевых или высокопрочных стальных сплавов, что позволяет существенно снизить собственную массу автопоезда и увеличить объем перевозимой щебы до 100 куб.м.

Следует констатировать, что формирование товарной политики в комплексе маркетинге СП ЗАО «МАЗ-МАН» основывается на разработке систем машин для различных отраслей народного хозяйства. Данный подход является основным фактором, обеспечивающим достижение и сохранение устойчивого конкурентного положения промышленного предприятия.

Растущий объем общего взаимодействия предприятия обуславливает усложнение системы управления товарной политикой в комплексе маркетинга и необходимость выстраивания данного бизнес – процесса на основе принципа единства процессов дифференциации и интеграции разнообразных форм, подходов, целей, функций управления товарной политикой, обеспечивающих в конечном итоге формирование эффективного портфеля заказов СП ЗАО «МАЗ-МАН».

Вместе с тем, современное поколение техники «МАЗМАН» демонстрирует синергизм опыта и ноу–хау во всех аспектах развития научного и технико – технологического прогресса. Номинальные характеристики техники «МАЗМАН» устанавливают отечественные и международные стандарты качества грузовой автомобильной техники.

В конечном итоге, техника «МАЗМАН» работает с широко известной высокой степенью надежности, о которой знают отечественные и зарубежные клиенты. Вышеизложенные факты гарантируют, что успешная история СП ЗАО «МАЗ-МАН» будет продолжена.

Подсекция «Технология и оборудование лесозаготовительной промышленности»

УДК 630*36

И.Н. Гончаров, вед. науч. сотр. отдела исследований аварийно-спасательной техники и оборудования («Научно-исследовательский институт пожарной безопасности и проблем чрезвычайных ситуаций»);
С.А. Голякевич, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

**МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОЦЕНКА ОПОРНОЙ ПРОХОДИМОСТИ
ОБЛЕГЧЕННОЙ ПОЖАРНОЙ АВТОЦИСТЕРНЫ
С ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ ПОДКАЧКОЙ ШИН
С УЧЕТОМ ДИНАМИКИ ЕЕ ДВИЖЕНИЯ**

Условия движения по дорогам общего пользования и бездорожью обуславливают действие на шасси динамических нагрузок, значительно превышающие статические величины. Данные нагрузки обуславливаются величинами неровностей поверхностей движения, упругими и демпфирующими характеристиками подвески и шин, массово-геометрическими параметрами шасси и оборудования (рисунок 1) и др.

Полученные при расчете данные используются для последующего моделирования напряженно-деформированного состояния деталей ходовой части, анализа реализации тяговых и сцепных свойств, оценки прочности и усталостной долговечности деталей трансмиссии и ходовой части.

Отличием расчетной схемы модели от реальной конструкции является использование ряда допущений, которые призваны упростить модель, ускорить ее расчет и, вместе с тем, обеспечить приемлемую точность.

К общепринятым допущениям [1, 2] в моделировании динамики машин следует отнести следующие. Распределенные массы машины заменяются сосредоточенными, а соединение таких масс между собой выполняется безынерционными упругодемпфирующими связями. Кроме этого, упругие характеристики шин часто принимают линейными, а силы их неупругого сопротивления – пропорциональными скорости деформации. Радиусы качения колес принимаются одинаковыми и равными статическому радиусу. Контакт колеса с дорогой принимается точечным, а высоты микронеровностей поверхности движения под колесами правой и левой колеи усредняются.

Математическая модель по оценке опорной проходимости облегченной пожарной автоцистерны структурно состоит из 3 взаимосвязанных блоков: блок оценки динамики движения; блок оценки тягово-сцепных свойств и блок анализа опорной проходимости.

Расчетная схема для оценки динамики движения (рисунок 2) имеет 6 степеней свободы, которые описывают колебания облегченной пожарной автоцистерны в продольной вертикальной плоскости. В каждый момент времени положение сосредоточенных масс автоцистерны определяется следующими обобщенными координатами: вертикальным и угловым перемещениями центра тяжести Z_1 , θ_1 соответственно; вертикальными перемещениями центров тяжести неподрессоренных масс передней и задних осей ξ_1 , ξ_2 , ξ_3 ; углом поворота рессорно-балансирной тележки θ_2 .

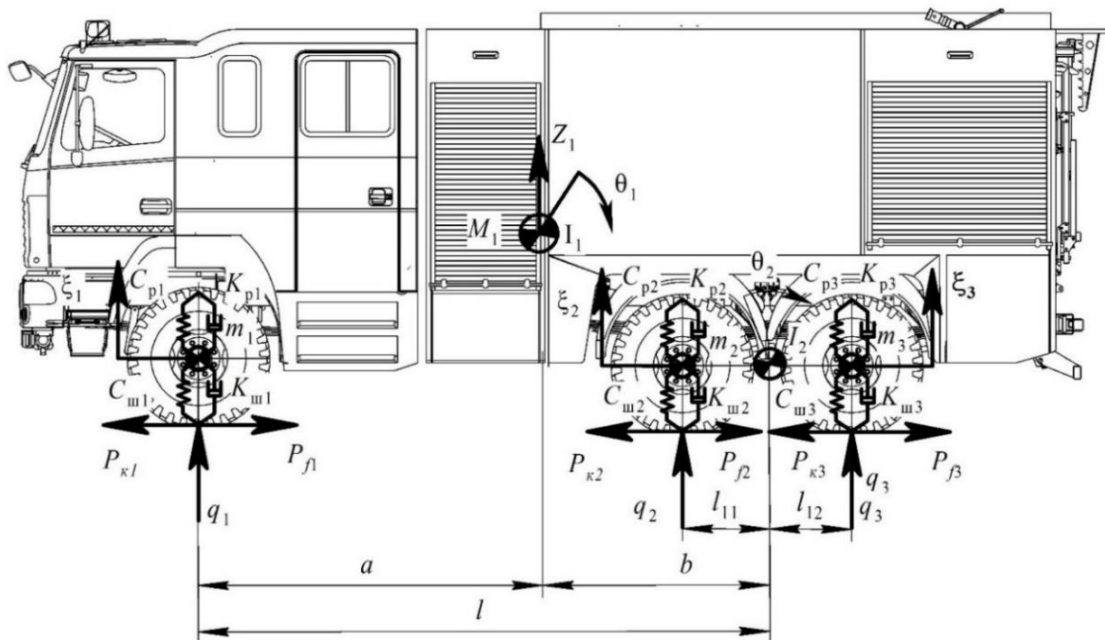


Рисунок 1 – Расчетная схема математической модели динамики движения облегченной пожарной автоцистерны

Мгновенное геометрическое положение сосредоточенной массы M_1 пожарной автоцистерны определяется координатами x и z по выражениям 1. на основании предварительного расчета с учетом взаимного расположения центров масс отдельных элементов автоцистерны и за вычетом неподрессоренных масс ведущих мостов, колес и рессорно-балансирной подвески (рисунок 2).

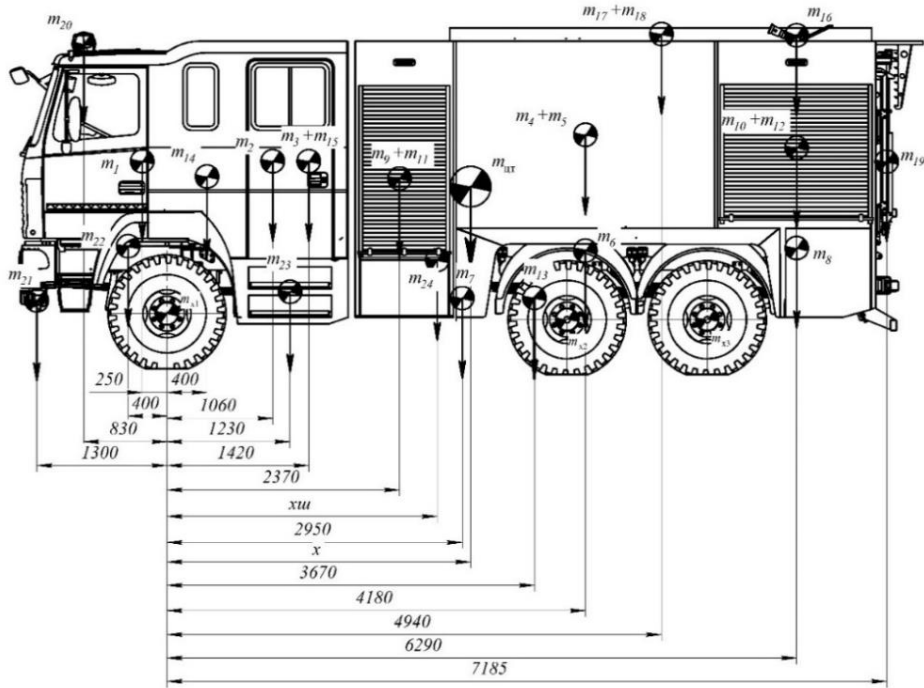


Рисунок 2 – Расчетная схема определения положения сосредоточенной массы облегченной пожарной автоцистерны

$$x = \frac{\sum_{i=2}^{19} m_i l_i + \sum_{i=23}^{24} m_i l_i - \sum_{i=20}^{22} m_i l_i - \sum_{i=1}^3 m_{xi} l_{xi}}{\sum_{i=1}^{24} m_i - \sum_{i=1}^3 m_{xi}}, \quad z = \frac{\sum_{i=1}^{24} m_i h_i - \sum_{i=1}^3 m_{xi} h_{xi}}{\sum_{i=1}^{24} m_i - \sum_{i=1}^3 m_{xi}} \quad (1)$$

где m_i – масса отдельных узлов облегченной пожарной автоцистерны; m_{xi} – массы неподрессоренных ходовых частей; l_i, h_i – горизонтальные и вертикальные координаты положения центров тяжести элементов машины соответственно, м (определяются согласно рисунку 2).

Система дифференциальных уравнений, входящих в математическую модель, составлена на основе уравнений Лагранжа второго рода [3]:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_i} = Q_i, \quad (2)$$

где T и Π – кинетическая и потенциальная энергии системы соответственно; R – диссипативная функция Релея; q_i – обобщенная координата; Q_i – внешние обобщенные силы.

Выражения, по которым определяются кинетическая, потенциальная энергии и диссипативная функция Релея имеют следующий вид:

$$T = \frac{1}{2} M_1 \dot{Z}_1^2 + \frac{1}{2} I_1 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_1 \dot{\xi}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \dot{\xi}_2^2 + \frac{1}{2} m_3 \dot{\xi}_3^2 + \frac{1}{2} I_2 \dot{\theta}_2^2; \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \Pi = & \frac{1}{2}(Z_1 + \theta_1 a - \xi_1)^2 c_{p1} + \frac{1}{2}(\xi_1 - q_1)^2 c_{ш1} + \\ & + \frac{1}{2}[Z_1 - \theta_1(b - l_{11}) + \theta_2 l_{11} - \xi_2]^2 c_{p2} + \frac{1}{2}(\xi_2 - q_2)^2 c_{ш2} + \\ & + \frac{1}{2}[Z_1 - \theta_1(b + l_{12}) - \theta_2 l_{12} - \xi_3]^2 c_{p3} + \frac{1}{2}(\xi_3 - q_3)^2 c_{ш3}; \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} R = & \frac{1}{2}(\dot{Z}_1 + \dot{\theta}_1 a - \dot{\xi}_1)^2 k_{p1} + \frac{1}{2}(\dot{\xi}_1 - \dot{q}_1)^2 k_{ш1} + \\ & + \frac{1}{2}[\dot{Z}_1 - \dot{\theta}_1(b - l_{11}) + \dot{\theta}_2 l_{11} - \dot{\xi}_2]^2 k_{p2} + \frac{1}{2}(\dot{\xi}_2 - \dot{q}_2)^2 k_{ш2} + \\ & + \frac{1}{2}[\dot{Z}_1 - \dot{\theta}_1(b + l_{12}) - \dot{\theta}_2 l_{12} - \dot{\xi}_3]^2 k_{p3} + \frac{1}{2}(\dot{\xi}_3 - \dot{q}_3)^2 k_{ш3}, \end{aligned} \quad (5)$$

где M_1 – масса пожарной автоцистерны без учета; I_1, I_2 – моменты инерции автоцистерны и задней рессорно-балансирной подвески, приведенный к оси его качания, соответственно; $c_{ш1}, c_{ш2}, c_{ш3}, k_{ш1}, k_{ш2}, k_{ш3}$ – коэффициенты вертикальной жесткости и сопротивления шин; $c_{p1}, c_{p2}, c_{p3}, k_{p1}, k_{p2}, k_{p3}$ – коэффициенты вертикальной жесткости и сопротивления рессор; a, b – горизонтальные координаты центра тяжести, пожарной автоцистерны; l_{11}, l_{12} – расстояние между осями рессорно-балансирной подвески; q_1, q_2, q_3 – текущие значения ординат микропрофиля под колесами автоцистерны.

После подстановки величин (3) – (5) в выражение (2) и выполнения дифференцирования по соответствующим обобщенным координатам получена система дифференциальных уравнений, которая описывает колебательные процессы, происходящие с машиной при ее движении. Для последующего программирования уравнения системы предварительно выражаются относительно 2-й производной по каждой обобщенной координате, а не в стандартной форме Коши с нулевой правой частью.

УДК 630*36

С.А. Голякевич, доц., канд. техн. наук;
П.А. Протас, доц., канд. техн. наук;
С.П. Мохов, доц., канд. техн. наук. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ СТРУКТУРЫ И ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПАРКА ХАРВЕСТЕРОВ В ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Предприятиями Министерства лесного хозяйства (МЛХ) эксплуатируется более 2800 ед. лесозаготовительных и лесотранспортных машин. Среди них порядка 356 харвестеров, свыше 360 специализированных форвардеров, и более 1300 прицепных погрузочно-транспортных машин. С 2010 года реализация программы технического переоснащения предприятий отрасли позволила увеличить общее количество машин более чем на 1500 ед.

На предприятиях МЛХ при проведении рубок главного и ряда рубок промежуточного пользования применяются многооперационные лесозаготовительные машины производства ОАО «Амкодор-управляющая компания холдинга», ОАО «МТЗ-холдинг» совместно с Sampo-Rosenlew (Belarus-Sampo), Vimek, Ponsse, Komatsu, John Deere (табл. 1.). Среди машинного фонда также эксплуатируются харвестеры: HSM – 2 ед., Silvatec – 2 ед., Nissula – 1 ед., Valmet 911.4 – 1 ед., Usewood – 1 ед.

Несмотря на то, что ОАО «Амкодор – УКХ» по-прежнему остаётся лидером по объему машин, эксплуатируемых на предприятиях МЛХ, его участие в общем объеме харвестеров составляет лишь 47,8%. К настоящему времени предприятия поставляют лесохозяйственным учреждениям харвестеры и форвардеры предназначенные преимущественно для проведения поздних рубок ухода (прореживания), а также рубок главного пользования.

Изначально позиционируемый как харвестер для проведения прочисток и прореживания Амкодор 2531 не получил широкого распространения на предприятиях МЛХ и эксплуатируется на них в количестве 6 ед. Основным недостатком машины, следует считать ее габариты по ширине (2,3 м), которые не позволяют полноценно передвигаться под пологом леса без прорубания технологического коридора, что характерно для проведения рубок прочистки. С другой стороны, такая поперечная ширина не позволяет обеспечить высокую устойчивость машины при использовании манипуляторов с большим вылетом стрелы и харвестерных головок для проведения рубок главного пользования. В этой связи Амкодор 2531 оснащается манипулятором KESLA 671H с вылетом 7,13 м и отсутствием телескопического

звена, а также относительно маломощной харвестерной головкой KESLA 18RHH характеристик которой недостаточно для эффективно-го проведения рубок главного пользования. Для сравнения: конкуренцию данной машине составляют Sampo 1046 (31 ед.) и Belarus-Sampo МЛХ-46 (25 ед.), имеющие аналогичные характеристики технологического оборудования, но меньший габарит по ширине – 2,1 м, длине – 4,7 м, и значительно меньшую массу 7,0 – 8,5 тонны (10,75 тонны у Амкодор 2531).

Таблица 1 – Парк харвестеров по производителям и моделям в разрезе ГПЛХО

Наименование ГПЛХО	Кол-во харв.	Амк.	Bel-Sampo		Sam-ro	Vim-ek	Pons-se	Komatsu		John-Deere	Иные
			46	265				911	931	–	
Брестское	45	21	–	1	3	16	1	–	2	–	1 Nis.
Витебское	47	25	4	1	6	4	6/1	–		–	–
Гомельское	69	35	8		3	17	2	2	–	–	2 Sil.
Гродненское	44	15	–		3	8		9+3	1	5	–
Минское	87	41	5	1	10/1	22	–/2	1		1	1 Usew. 2 SM.
Могилевское	64	33	8	–	5	18	–	–		–	–
Всего	356	170	25	3	31	85	9+3	12+3+3		6	6

Из представленных в лесохозяйственных учреждениях машин лишь Sampo Rosenlew 1066 и John Deere 770 D имеют схожие технические характеристики с Амкодор 2531, но они, как и белорусский харвестер, не получил широкого распространения (1 ед. Sampo Rosenlew 1066 и 4 ед John Deere 770 D).

Востребованным лесохозяйственными учреждениями страны остается харвестер Vimek 404 (85 ед.). Имея малые габариты по ширине – 1,83 м, длине – 4,46 м (при колесной базе 2,1 м) и массу 4,7 тонны способен проводить рубки прочистки находясь под пологом леса и не прорубая, в ряде случаев, основных технологических коридоров. Кроме того, за счет конструкции механизма поворота, предусматривающей возможность поворота управляемых колес до $\pm 80^\circ$ от способен маневрировать по малым траекториям между деревьями не повреждая их стволы. Недостатками машины следует считать малый вылет манипулятора Mowi 2046 – 4,6 м, что требует постоянного маневрирования для валки нового дерева и отсутствие столь же маневренного и малогабаритного форвардера для организации эффективного лесозаготовительного комплекса. Существующий и эксплуатируемый в лесхозах страны форвардер Vimek 610 SE имеет большую ширину (1,9 м) и длину (6,9 м в стандартном исполнении), что не позволяет ему маневрировать аналогично харвестеру и снижает эффектив-

ность работы комплекса ввиду необходимости, предварительного прорубания технологического коридора харвестером для возможности сбора сортиментов форвардером.

В классе харвестеров предназначенных в основном для проведения рубок главного пользования однозначный типаж машин не сложился. Наиболее распространены харвестеры Амкодор 2551 и Амкодор 2541, являющиеся самыми массовыми харвестерами на предприятиях МЛХ (82 ед. и 73 ед. соответственно), причем в последние 5 лет предпочтение лесозаготовителей отдается последнему из них. Данные харвестеры имеют близкое по характеристикам технологическое оборудование. Оба оснащены манипулятором Kesla 1392H с вылетом 9,5 м и харвестерными головками Kesla 25 RH/RH-II (в зависимости от года выпуска) и Kesla 20 RH/RH-II соответственно. Обладая при этом равными энергетическими характеристиками (двигатель Д 260.9 для обоих харвестеров) Амкодор 2541 имеет ряд преимуществ: лучшую маневренность за счет использования более короткого шасси 4К4 (6К6 у Амкодор 2551), меньший вес – 13,1 тонны (15,7 тонны у Амкодор 2551) и меньшую закупочную стоимость ввиду отсутствия дорогостоящих элементов ходовой части импортного производства (к примеру балансирных мостов NAF).

В перспективе, харвестеры с колесной формулой 6К6 и 8К8 будут оставаться актуальными для условий эксплуатации, имеющих низкую несущую способность грунтов, где ограниченное давление на опорную поверхность и возможность использования съемных металлических гусениц на балансирных мостах является предпочтительным. Заметна также тенденция к использованию харвестеров более тяжелого класса. Так, лесохозяйственными учреждениями эксплуатируется 40 машин массой свыше 18 тонн и мощностью более 150 кВт: 9 харвестеров Амкодор 2561, 9 харвестеров Ponsse Ergo и 3 харвестера Ponsse Scorpion King, 2 ед. Silvatec 8266TH, 12 ед. Komatsu 911, 3 ед. Komatsu 931, а также по 1 ед. Belarus-Sampo МЛХ-265, HSM 405 8WD. Кроме того, многие сторонние организации оказывающие услуги по механизированной заготовке древесины располагают именно харвестерами тяжелого класса. Для данных машин, при наличии соответствующей квалификации операторов, доступны возможности одновременного совмещения нескольких технологических операций. Однако, в определенных случаях, это не только не приводит к повышению производительности работ, но также снижает качество производимых лесоматериалов, повреждает машину, не является безопасным. Часто, операторы производят валку крупных деревьев без их полного захвата харвестерной головкой, выполняют совмещение вал-

ки с одновременной обрезкой сучьев и др. Данные технологические особенности должны стать предметом дальнейших исследований.

Сопоставляя данные о возрастной структуре парка харвестеров на 1.09.2021 с аналогичными данными 2020 года незначительную тенденцию старения парка лесозаготовительных машин, которая, вероятно, обусловлена их несвоевременной поставкой в лесохозяйственные учреждения со стороны машиностроительных предприятий.

Так, при среднегодовом приросте машинного парка новых харвестеров (+51 ед.) общая положительная динамика по машинам моложе 5 лет во всех ГПЛХО отмечается лишь на уровне 42 ед. (таблица 2): в Брестском (+7 ед.), Витебском (+6 ед.), Гомельском (+18 ед.), Гродненском (+2 ед.), Минском (+ 4 ед.), Могилевском (+5 ед.). При этом, объем машин старше 5 лет также увеличился (+5 ед.).

Таблица 2 – Возрастная структура парка харвестеров

Наименование ГПЛХО	Кол-во харв.	В возрасте			% машин	
		2019–2021 г.в. (моложе 3 лет)	2017–2018 г.в. (от 3 до 5 лет)	до 2016 г.в. (старше 5 лет)	моложе 3 лет	моложе 5 лет
Брестское	45	11	23	11	24,4	75,6
Витебское	47	16	9	22	34,0	53,2
Гомельское	69	29	19	21	42,0	69,56
Гродненское	44	15	14	15	34,1	65,9
Минское	87	23	24	40	26,4	54,0
Могилевское	64	20	26	18	31,3	71,9
Всего	356	114	115	128	32,0	64,3

Амортизация парка лесозаготовительных и лесотранспортных машин ставит перед лесопромышленными и лесохозяйственными предприятиями задачу по последовательной модернизации машинотракторного парка. Замена старых и технически изношенных машин должна осуществляться исключительно на новые и имеющие улучшенные потребительские качества. Задача создания таких машин стоит перед отечественными предприятиями лесного машиностроения.

УДК 630*36

С.А. Голякевич, доц., канд. техн. наук;
Ю.И. Мисуно, ассист.; Д.А. Кононович, ассист. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ ОБ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНЫХ МАШИН В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Для наиболее полного описания условий эксплуатации многооперационных лесозаготовительных машин, факторы, их определяющие разделены на 2 группы. К первой отнесены таксационные характеристики древостоев и лесохозяйственные требования к проводимым рубкам: массово-геометрические параметры деревьев, запас древесины на единице площади, породный состав, вид рубки и экологические требования к ее проведению; ко второй – условия движения машин: физико-механические свойства почвогрунтов, состояние дорожных покрытий, макро- и микрорельеф местности.

Согласно государственному лесному кадастру Республики Беларусь по состоянию на 1.01.2021 покрыто лесом 8,883 млн. га территории страны. При этом леса, предназначенные для освоения с целью получения древесных ресурсов (эксплуатационные), занимают лишь 5,193 млн. га (58,46%).

Преобладающими породами в Республике Беларусь являются хвойные, эксплуатационными лесами которых покрыто 3090,7 тыс. га (43,55%) с 781,31 млн. м³ древесины. 83,5% данной территории занимают сосняки и 16,5% ельники. Спелыми и перестойными хвойными лесами занято 596,5 тыс. га (19,3%) с общим запасом 183,5 млн. м³. Приспевающие сосняки и ельники покрывают 1157 тыс. га (37,43%) и содержат 358,9 млн. м³ древесины; средневозрастные – 687,4 тыс. га (22,43 %) с запасом 180,1 млн. м³; молодняки 649,8 тыс. га (21,3%) с 58,81 млн. м³ древесины. Площадь, покрытая иными хвойными породами: пихта, лиственница, кедр не превышает 1,19 тыс. га и статистически мала. Эксплуатационные леса мягколиственных пород занимают около 1874,128 тыс. га (26,4%) с общим запасом древесины 343,917 млн. м³. Территория, покрытая твердолиственными породами относительно мала – 202,97 тыс. га, а общий запас древесины на ней около – 36,624 млн. м³. Прочие древесные породы и кустарники составляют незначительную долю эксплуатируемых лесов, а механизированная заготовка в них, как правило, не проводится.

В приведенных статистических данных приспевающие, спелые и перестойные эксплуатационные хвойные (и мягколиственные) леса выделены не случайно. Они составляют природно-производственную базу для многооперационных лесных машин по рубкам главного

пользования и геометрические параметры деревьев именно в этих лесах должны приниматься в качестве исходных для обоснования параметров таких машин. Параметры многооперационных машин, предназначенных для проведения последних рубок ухода (прореживания) и проходных рубок, напротив должны обосновываться с учетом характеристики средневозрастных древостоев. При этом стоит учитывать, что параметры деревьев одной породы и возраста, но произрастающих в лесах различных типов, могут существенно отличаться между собой.

Так, преобладающими типами леса для сосняков Республики Беларусь являются: мшистый (36,5%); орляковый (24,06%); черничный (16,61%); кисличный (5,97%); долгомошный (4,85%); вересковый (3,55%); багульниковый (2,85); осоковый, сфагновый и осоково-сфагновый совокупно (4,84%); прочие типы леса составляют менее (1%). Еловые древостои распределены следующим образом: кисличные ельники составляют 56,21%; черничные – 20%, орляковые – 13,15%, снытьевые – 3,12%, мшистые – 2,96%, папоротниковые – 2,4%, долгомошные – 1,27%, прочие типы – менее 1%.

Рассматривая вариативность характеристик деревьев в разных условиях произрастания следует предварительно обозначить, что известные исследования в области анализа таксационных характеристик древостоев, как правило, ставят своей задачей выявление взаимосвязей между условиями произрастания деревьев, ходом их роста, размерами ствола, кроны, корневой системы в каждом возрасте, процессами формирования биогеоценозов и др. Несмотря на столь широкий перечень освещаемых вопросов данные исследования дают не полные исходные данных для моделирования процессов взаимодействия лесных машин с деревом, как объектом труда. Поэтому в рамках настоящих исследований остановимся на анализе взаимосвязей параметров деревьев с условиями их произрастания и выделением тех из них, которые впоследствии влияют на выбор параметров несущих конструкций и силовых приводов лесных машин. К ним следует отнести высоту дерева, диаметр и форму ствола, плотность древесины, диаметр сучьев, их число и расположение, угол вхождения сучьев в ствол, геометрические параметры кроны и др.

В исследованиях отмечается, что «в пределах одного географического района между классами бонитета и типами роста деревьев есть тесная связь, согласно которой каждому классу бонитета соответствует своя наиболее вероятная линия хода роста». В этой связи, с достаточной точностью, возможно установление взаимосвязи между параметрами деревьев в рамках отдельных пород для каждого класса бонитета в зависимости от их возраста.

В реальном лесопромышленном производстве условия эксплуатации характеризуются значительным непостоянством. Поэтому

оценку эксплуатационной эффективности лесных машин корректнее проводить не для константных, а для стохастически распределенных параметров предмета труда. Их учет при оценке эффективности машин производится посредством введения соответствующих парциальных коэффициентов условий эксплуатации, учитывающих вероятность работы с деревьями заданной породы $F(s)$, таксационного диаметра $C(d)$, перемещения в условиях с заданным сопротивлением движению $G(f)$ и др.

О распределении параметров деревьев в лесорастительных условиях Республики Беларусь известны труды В.П. Машковского, В.Ф. Багинского, О.А. Атрощенко и других белорусских ученых. Результатом их анализа стало формирование рядов распределения характеристик деревьев, в том числе по ступеням толщины.

Наиболее обоснованная связь лесорастительных условий Республики Беларусь с физико-механическими свойствами грунтов на этой территории в различные периоды года прослеживается в совместных работах А.С. Федоренчика и П.А. Протаса. В предложенной ими лесоэксплуатационной классификации лесных территорий Республики Беларусь используется эдафическая сетка типов леса, предложенная П.С. Погребняком, которая дополняется эксплуатационными показателями типов местности: несущей способностью, модулем деформации, уровнем грунтовых вод, возможными сезонами разработки, а также вводит обобщающие характеристики – тип местности и его описание как экологической группы.

Предложенная классификация удобна при обосновании характеристик ходовых систем лесных машин и для предварительной оценки их экологического воздействия на лесной напочвенный покров. Однако эта классификация не дает данных о взаимосвязи между характеристиками почво-грунтов и массово-геометрическими параметрами деревьев, произрастающих на них. Это особенно важно при проектировании и эксплуатации многооперационных машин, большая часть технологического цикла которых приходится на взаимодействие с деревом.

Попыткой создания такого обобщающего распределения следует считать работу специалистов кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства (пример для сосняков – таблица). Предложенная ими лесоэксплуатационная классификация лесных территорий Республики Беларусь учитывает характеристики типов местности, серии типов леса, эдафотопы, вероятностные уровни грунтовых вод и занятые такими лесами площади, а также механические свойства почвогрунтов выраженные в их несущей способности и модуле деформации. Дополнительно предлагаются варианты освоения лесов в

зависимости от типа местности в летнее и зимнее время с использованием колесной и гусеничной техники.

Таблица 1 – Условия эксплуатации лесных машин

Порода	Тип леса	% территории в рамках породы	Эдафотоп, почвы	Описание	Бонитет основной породы и примерный состав древостоя
Сосняк	Мшистый	36,5	A2	Дерново-подзолистые, песчаные иногда легко супесчаные, свежие	II(I) 7-10С до 3ЕБ(б)Ос иногда Д
	Орляковый	24,06	B2	дерново-подзолистые, супесчаные, подстилаемые легким суглинком, свежие	I (Ia) 7-10С до 3ЕДБ(б)ОсГ
	Черничный	16,61	B3	дерново-подзолистые, оглеенные песчаные иногда супесчаные, влажные	I (II) 6-10С до 4ЕБ(б)Ос, реже Д
	Кисличный	5,97	C2	дерново-подзолисты, легко-суглинистые, а также песчаные и супесчаные, подстилаемые суглинком,	Ia(I) 6-10С до 4ЕДБ(б)ЛпОс часто II ярус из ЕГ
	Долгомошный	4,85	A4	Торфяно-подзолисто-глеевые, песчаные или супесчаные, сырые, среднепроточные	III(II) 8-10С до 2ЕБ(б,п) Ол(ч)
	Вересковый	3,55	A2	Дерново-подзолистые, песчаные, несколько суховатые	III (II) 8-10С до 2 Б(б)Ос
	Багульниковый	2,85	A5	Торфяно-глеевые слабопроточные	IV (V) 8-10С до 2Б(п) Е
	Осоковый	4,84	A5	Торфяно-болотные слабопроточные	IV (V) 7-10С до 3Б(п)Еол(ч)
	Сфагновый		A5	Торфяно-болотные слабопроточные и застойные	Va(Vб) 7-10С до 3Б(п)Е
	Осоково-сфагновый		A6	Торфяно-болотные застойные	ниже Vб 10С, березы нет

Указанные исследования дополнены вышеприведенными данными о распределении параметров предметов труда, с предварительно установленной связью с сериями типов леса и эдафотопами. По результатам исследования получена обобщающая стохастическая характеристика условий эксплуатации лесных машин.

УДК 630*36

С.А. Голякевич, доц., канд. техн. наук;
 А.Р. Гороновский, доц., канд. техн. наук;
 С.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук.
 (БГТУ, г. Минск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОСИЛОВОГО ПРИВОДА МАЛОГАБАРИТНОГО ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА

Для оценки тяговых свойств проектируемого лесохозяйственного мини-трактора была разработана методика и на ее основе реализована в виде компьютерной программы математическая модель электросилового привода.

Несмотря на то, что источником энергии для электродвигателя НРМ-10КВ является аккумулятор постоянного тока, работа двигателя происходит за счет действия синусоидальной волны генерируемой контроллером ВЕС500. Т. е. на вход электродвигателя подается условный переменный ток. В этой связи моделирование выходной характеристики двигателя для номинальных режимов работы проведено по нижеизложенной методике.

Номинальная эффективная мощность двигателя определяется выражением

$$N_{en} = UI\eta_m \cos \varphi. \quad (1)$$

При этом величина критического крутящего момента зависит от перегрузочной способности электродвигателя λ и определяется по зависимости

$$M_{кр} = 9,55 \frac{N_{en}}{n_{кр}} \lambda. \quad (2)$$

Величина эффективного крутящего момента, реализуемая на роторе а электродвигателя, описывается упрощенной формулой Клосса и представляет собой функциональную зависимость $M_{вых} = f(s)$:

$$M_{вых} = \frac{2M_{кр}}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}, \quad (3)$$

где s – текущее значение скольжения двигателя, $s_{кр}$ – критическая величина скольжения.

Критическая величина скольжения обусловлена величиной номинального скольжения s_n и коэффициентом перегрузочной способности λ :

$$s_n = \frac{n_0 - n_{кр}}{n_0}, \quad s_{кр} = s_n (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}). \quad (4)$$

Текущая частота вращения ротора электродвигателя также является функцией скольжения $n_{\text{ВЫХ}} = f(s)$:

$$n_{\text{ВЫХ}} = n_0(1-s). \quad (5)$$

На основе полученных функциональных зависимостей $M_{\text{ВЫХ}} = f(s)$ и $n_{\text{ВЫХ}} = f(s)$ для значений скольжения $s \in (0...s_{\text{кр}}]$ строится механическая характеристика.

Описанная механическая характеристика в ее исходном виде редко используется в реальных конструкциях современных мобильных машин. Для обеспечения плавности работы, стабильности выходных параметров, защиты от перегрузок и продления срока службы электродвигателя применяют различные виды регулирования и ограничения механической характеристики.

Между тем, в основу управления электродвигателям следует положить принцип стабилизации мощности или крутящего момента. В таком случае выходная мощность на роторе электродвигателя определяется по формуле

$$N_{\text{ВЫХ}} = \frac{M_{\text{ВЫХ}}^r n_{\text{ВЫХ}}}{9,55}, \quad (6)$$

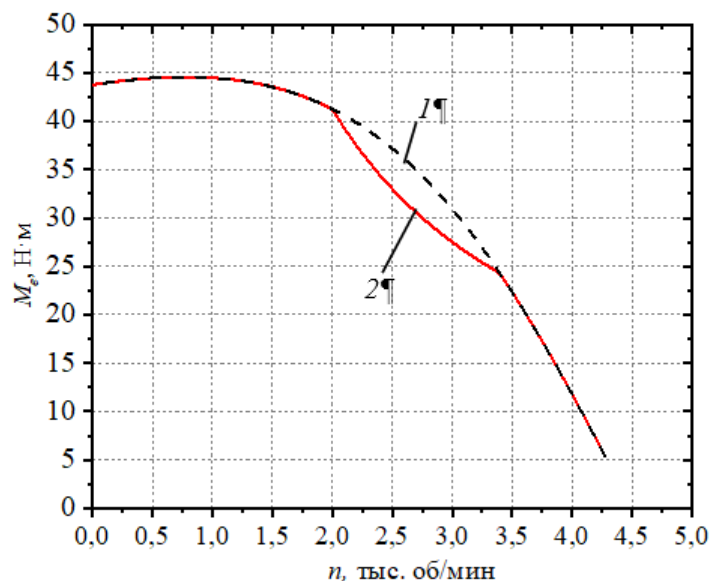
а реальная механическая характеристика $M_{\text{ВЫХ}}^r = f(s)$ электродвигателя может быть описана системой уравнений с учетом вводимых ограничений.

$$M_{\text{ВЫХ}}^r = \begin{cases} M_e, & \text{если } \frac{M_{\text{ВЫХ}} n_{\text{ВЫХ}}}{9,55} \leq N_{en} \text{ и } M_{\text{ВЫХ}} \leq M_{\text{доп}}; \\ M_{\text{доп}}, & \text{если } \frac{M_{\text{ВЫХ}} n_{\text{ВЫХ}}}{9,55} \leq N_{en} \text{ и } M_{\text{ВЫХ}} > M_{\text{доп}}; \\ \frac{9,55 N_{en}}{n}, & \text{если } \frac{M_{\text{ВЫХ}} n_{\text{ВЫХ}}}{9,55} > N_{en}, \end{cases} \quad (7)$$

где $M_{\text{доп}}$ – предельно допустимый крутящий момент электродвигателя, Н·м.

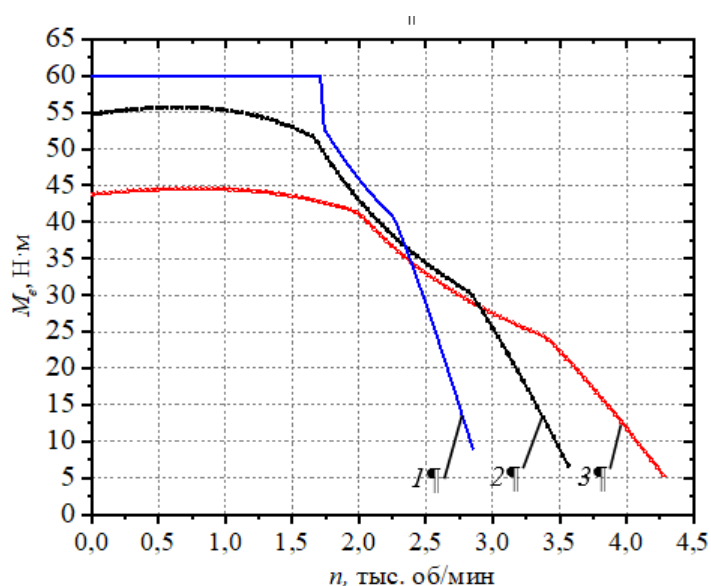
С использованием приведенной расчетной методики проведено компьютерное математическое моделирование электрической части трансмиссии. По результатам моделирования построены внешние механические характеристики электродвигателя НРМ-10кВт, для различных режимов питания.

На рисунке 1 приведены механические характеристики электродвигателя НРМ-10кВт при напряжении питания 72 В и ограничении силы тока 120 А., а на рисунке 2 для иных выходных характеристик.



1 – построенная по зависимостям (3.3 – 3.5); 2 – построенная с учетом ограничения крутящего момента и стабилизации мощности (3.7)

Рисунок 1 – Механическая характеристика электродвигателя НРМ-10кВт при напряжении питания 72 В и ограничении силы тока 120 А



1 – 72 В/120 А, 2 – 60 В/150 А, 3 – 48 В/200 А

Рисунок 2 – Механические характеристики электродвигателя НРМ-10КВт при различных доступных напряжениях питания и ограничениях силы тока, и принудительном ограничении выходного крутящего момента 60 Н·м

После подбора электродвигателя и построения его механической характеристики выполнены проектные расчеты механической части трансмиссии с определением тяговых и скоростных характеристик малогабаритного трактора.

Скорость его движения малогабаритного трактора для каждого значения частоты вращения выходного вала электродвигателя определялась выражением:

$$v = 0,377 \frac{R \cdot n_{\text{вых}}}{k_m} \quad (8)$$

где R – статический радиус колеса, м; k_m – общее передаточное число трансмиссии на соответствующей передаче.

Касательная сила тяги P_k (Н), развиваемая проектируемым трактором, определялась по зависимости

$$P_k = \frac{M_{\text{вых}} k_m \eta_{\text{тр}}}{R}, \quad (9)$$

На основе проведенного моделирования, для различных режимов работы электродвигателя получены тяговые характеристики проектируемого малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом двигателя (рисунок 3 и рисунок 4).

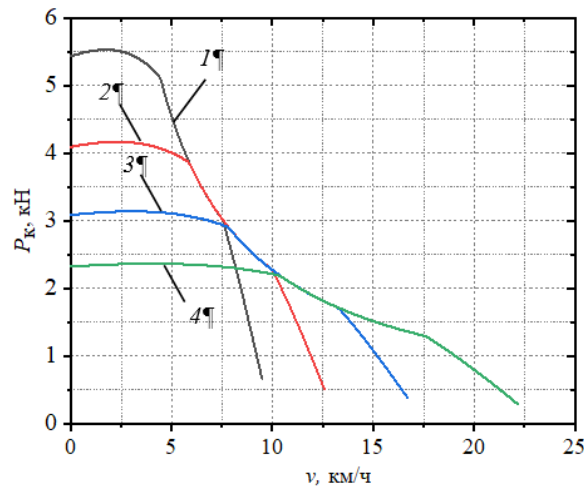


Рисунок 3 – Тяговая характеристика проектируемого малогабаритного лесохозяйственного трактора с электросиловым приводом при напряжении питания электродвигателя 72 В и максимальной силе тока 120А

КПД трансмиссии $\eta_{\text{тр}}$ был принят минимальным для данного класса тракторов и равным 0,73.

С целью анализа тяговых качеств проектируемого трактора и оценки возможностей преодоления сил сопротивления собственному качению и агрегатированию с различным технологическим оборудованием проведено соответствующее математическое моделирование.

УДК 630*364:629.3.023.1

Д.А. Кононович, зав. лаб.;
 С.П. Мохов, канд. техн. наук, зав. кафедрой ЛМДиТЛП;
 С.А. Голякевич, канд. техн. наук, доц.;
 С.Е. Арико, канд. техн. наук, доц.
 (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ БАЗОВЫХ ШАССИ ДЛЯ СБОРА ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ

Эффективность работы машины для сбора лесосечных отходов проводится для определения наиболее производительного варианта с учетом выбора базового шасси, места установки технологического оборудования, типа грунта, объема пачки, передаточного отношения трансмиссии, тяговых и сцепных свойств [1-3].

При рассмотрении процесса сбора лесосечных отходов с одной пачки с длиной формирования пачки 12 м по тяговым и сцепным свойствам установлено, что наибольшая эффективность по загрузке оборудования, находящегося на переднем бруске трактора Л82.2, возникает при волочении пачки лесосечных отходов объемом от 1 до 5 м³ и движении базового трактора по грунту I типа с понижающим редуктором (рисунок 1).

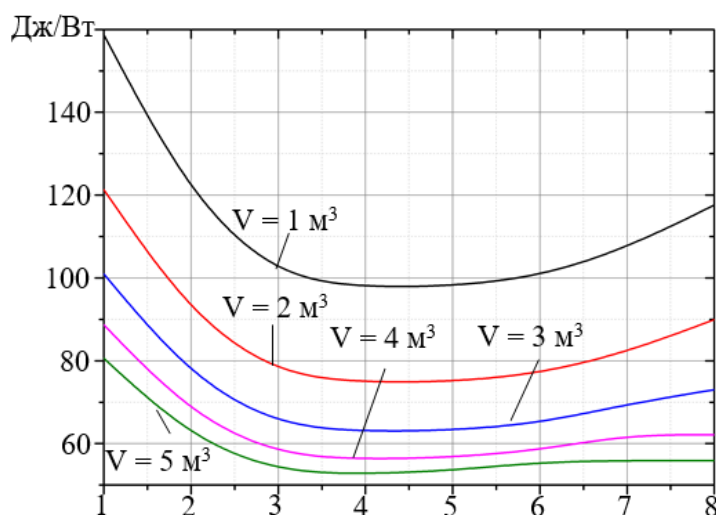


Рисунок 1 – Эффективность загрузки оборудования для сбора лесосечных отходов в зависимости от выбора передачи базового трактора Л82.2 и волочения пачки по грунту I типа с понижающим редуктором и установкой оборудования на переднем бруске трактора

В процессе проведения исследований по эффективности загрузки оборудования при выборе базового шасси установлено, что наибольшая эффективность достигается при установке технологиче-

ского оборудования на задней гидравлической навеске базового шасси Л82.2 при работе на грунтах I типа с понижающим редуктором. Установка технологического оборудования на переднем бруске трактора приводит к снижению эффективности до 16,13% загрузки оборудования, но облегчает работу оператора и обеспечивает равномерное распределение реакций при условии работы с понижающим редуктором. Эксплуатация базового шасси без понижающего редуктора приводит к снижению эффективности загрузки оборудования на 9,71% при установке его на переднем бруске трактора и на 36,74% – на задней гидравлической навеске.

При работе на грунтах II типа и установке технологического оборудования на переднем бруске трактора эффективность загрузки оборудования с понижающим редуктором выше на 4%, чем без редуктора. При установке на задней гидравлической навеске эффективность загрузки падает на 21–25% в зависимости от работы с редуктором или без него. При применении в качестве базового шасси Л1221 и установке технологического оборудования на переднем бруске трактора эффективность эксплуатации оборудования падает на 13,81% по сравнению с базовым трактором Л82.2 с понижающим редуктором и на 4,53% без редуктора. В случае установки оборудования на задней гидравлической навеске Л1221 эффективность загрузки оборудования снижается в 1,87 раза по сравнению с работой Л82.2 с понижающим редуктором и на 1,18 раза без редуктора (рисунок 2).

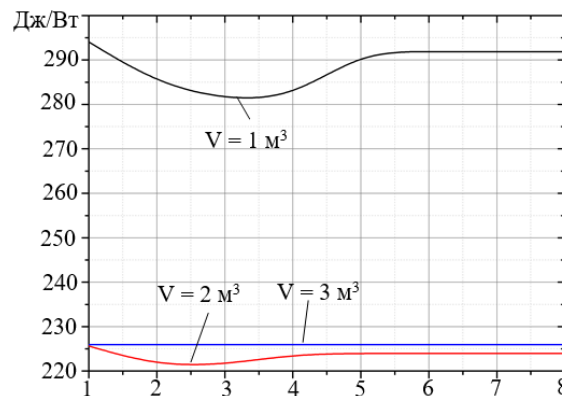


Рисунок 1 – Эффективность загрузки оборудования для сбора лесосечных отходов в зависимости от выбора передачи базового трактора Л1221 и волочения пачки по грунту II типа и установкой оборудования на его задней гидравлической навеске

На грунтах II типа работа базового шасси Л1221 имеет эффективность загрузки ниже в отличие от Л82.2 при установке технологического оборудования на переднем бруске трактора на 12,2% с понижающим редуктором и на 8,6% без редуктора. Установка оборудования на задней гидравлической навеске приводит к снижению

эффективности на 2,15% с понижающим редуктором и 2,48% без редуктора [4].

Эффективность эксплуатации МТЗ-320 на сборе без понижающего редуктора с установленным технологическим оборудованием на переднем бруске трактора при волочении 2 м³ лесосечных отходов ниже на 14,44% по сравнению с Л82.2 в таких же условиях, а при использовании понижающего редуктора эффективность падает до 24,25%. Это связано с очень большим передаточным числом понижающего редуктора у МТЗ-320, что приводит к большой затрате времени при выполнении технологических операций. Эффективность эксплуатации МТЗ-320 без понижающего редуктора и волочении 2 м³ лесосечных отходов при сравнении с Л1221 в таких же условиях ниже на 6,08%, а с понижающим редуктором – на 5,69%. Это связано с тем, что базовое шасси Л1221 не полностью реализует свой потенциал при волочении пачки объемом 2 м³, наибольшая же эффективность загрузки оборудования достигается при волочении 5 м³. Стоит отметить, что эффективность загрузки оборудования, установленного на переднем бруске трактора МТЗ-320 при его работе с понижающим редуктором и без редуктора на грунтах I типа практически идентичны, но достигаются они на разных передачах [5].

ЛИТЕРАТУРА

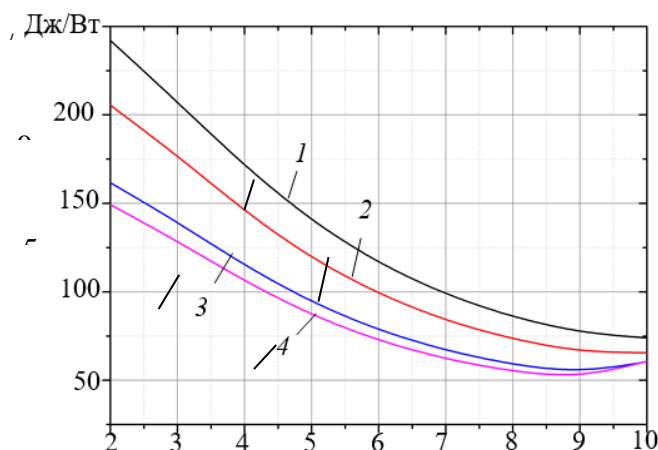
1. Жуков А.В. Теория лесных машин. Минск: БГТУ, 2001. 640 с.
2. Голякевич С.А., Гороновский А.Р., Мохов С.П. Методика оценки технический характеристик форвардеров на стадии проектирования // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 15–19.
3. Исаченков В.С., Симанович В.А. Обоснование параметров прицепного технологического оборудования колесных трелевочных машин // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 23–27.
4. Голякевич С.А. Применение систем адаптивного управления для повышения реализации энергетического потенциала харвестерами // Труды БГТУ. 2017. № 2: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. С. 238–244.
5. Перспективный комплекс машин для сбора и транспортировки лесосечных отходов / Мохов С.П. [и др.] // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы Междунар. науч.-техн. конф., г. Минск, 26–28 апр. 2017 г. С. 178–181.

**ОБОСНОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ СБОРА ЛЕСОСЕЧНЫХ ОТХОДОВ НА ОСНОВЕ
ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТЕНЦИАЛА**

Повышения эффективности эксплуатации машины для сбора лесосечных отходов можно добиться увеличением ширины технологического оборудования. Однако такое конструктивное изменение влечет за собой увеличение сил сопротивления волочению пачки, возникающих в процессе сбора. Такие силы сопротивления снижают тяговые свойства базового шасси и могут приводить к потере проходимости. В связи с этим существует необходимость обоснования ширины технологического оборудования с целью определения наиболее эффективной эксплуатации машины для сбора лесосечных отходов.

Повышение эффективности загрузки технологического оборудования путем изменения конструкции можно добиться двумя способами. Первый связан с поворотом оборудования на 90° после выполнения операции сбора, что позволит исключить обратный холостой ход. Второй способ – увеличение ширины технологического оборудования. Ширина технологического оборудования зависит от количества рабочих зубьев. В процессе исследования минимальное количество рабочих зубьев в оборудовании – 2 шт., а ширина между ними – 0,6 м.

Теоретическими исследованиями установлены наиболее эффективные передачи для сбора лесосечных отходов, но применение этих передач ограничено по причине различных природно-производственных условий на лесосеке. В связи с этим, следует выбирать передачи для движения меньше. Установлено, что увеличение ширины технологического оборудования без потери тяговых свойств на грунте I типа при установке технологического оборудования на задней гидравлической навеске базового трактора Л82.2 во время движения на первой передаче заднего хода возможно до 9 зубьев. В данном случае энергетическая эффективность эксплуатации оборудования достигает 51,44 Дж/Вт и практически не зависит от работы с понижающим редуктором или без него. Это связано с незначительным изменением коэффициентов трансмиссии при включении передачи заднего хода. Установка технологического оборудования на переднем бруске трактора позволяет увеличить ширину до десяти зубьев, но эффективность в таком случае ниже вследствие неиспользования такого количества зубьев при обратном движении челночного хода (рисунок 1).



1 – технологическое оборудование на переднем бруске Л82.2 с редуктором;
 2 – технологическое оборудование на переднем бруске Л82.2 без редуктора;
 3 – технологическое оборудование на задней гидравлической навеске Л82.2 с редуктором; 4 – технологическое оборудование на задней гидравлической навеске Л82.2 без редуктора

Рисунок 1 – Выбор ширины технологического оборудования в зависимости от места установки при движении базового трактора Л82.2 на почвах I типа и первой передаче

При проведении исследований по загрузке оборудования в зависимости от ширины технологического оборудования установлено, что наибольшая эффективность достигается при эксплуатации базового шасси Л82.2 на грунтах I типа и установке оборудования с количеством в 9 шт. рабочих зубьев на переднем бруске трактора при работе на третьей передаче. В таком случае работа с понижающим редуктором или без него не имеет существенных отличий в энергетических потенциалах производительностей. Целесообразно устанавливать оборудование на переднем бруске трактора ввиду простоты управления оператором и лучших показателей распределения опорных реакций. В случае невозможности реализации третьей передачи в процессе сбора лесосечных отходов ввиду большого количества препятствий (много пней, ям, камней, рвов) целесообразно по энергетическому потенциалу производительностей устанавливать технологическое оборудование на задней гидравлической навеске и применять вторую передачу заднего хода с понижающим редуктором либо первую передачу заднего хода без пониженного редуктора. В обоих случаях количество рабочих зубьев будет достигать 9 шт. Устанавливая технологическое оборудование на переднем бруске трактора Л82.2 и применяя первую передачу, можно увеличить количество рабочих зубьев до 10 шт., но эффективность в таком случае падает на 21–26% в зависимости от применимости понижающего редуктора. Это связано с увеличением времени цикла, а именно рабочего и холостого ходов. В случае эксплуатации базового шасси Л82.2 на грунтах II типа эффективность эксплуатации падает до 70% при работе на третьей передаче и уста-

новке технологического оборудования с максимально возможным количеством рабочих зубьев 5 шт. на переднем бруске трактора с понижающим редуктором. В случае, применения первой-второй передачи наиболее эффективно устанавливать технологического оборудование на задней гидравлической навеске. На второй передаче использование понижающего редуктора приводит к незначительному увеличению эффективности. Применяя базовое шасси Л82.2 на грунтах II типа наиболее рационально по энергетическому потенциалу производительностей использовать технологическое оборудование с пятью рабочими зубьями на задней гидравлической навеске и работать без понижающего редуктора. В случае применения понижающего редуктора эффективность падает на 3,33%, так как происходит увеличение времени на выполнение операций.

В случае применения базового шасси Л1221 на грунтах I типа энергетическая эффективность по загрузке оборудования достигается при работе на шестой передаче при установке технологического оборудования на переднем бруске трактора. В этом случае количество рабочих зубьев в оборудовании для сбора лесосечных отходов достигнет десяти. Однако эффективность загрузки оборудования с базовым шасси Л1221 ниже на 14,3% по сравнению с наибольшей эффективностью загрузки оборудования с базовым шасси Л82.2. В случае невозможности реализации шестой передачи в виду большого количества препятствий для снижения скорости движения базового шасси целесообразно применять первую-пятую передачи. Так, без существенной потери эффективности между передачами можно использовать технологическое оборудование на переднем бруске трактора с одиннадцатью рабочими зубьями на первой передаче, на второй и третьей передаче – с оборудованием на задней гидравлической навеске и десятью рабочими зубьями. Однако эффективность загрузки будет снижена до 25%, по сравнению с использованием шестой передачи, ввиду увеличения времени на технологический цикл. При установке технологического оборудования на задней гидравлической навеске наибольшая эффективность загрузки реализуется на третьей или четвертой передачах заднего хода при десяти рабочих зубьях, так как их эффективности будут отличаться всего на 0,24%. В данном случае эффективность будет выше на 1,16% при использовании на второй передаче и на 4,34% при использовании на первой передаче.

При применении на грунтах II типа базового шасси Л1221 максимальная реализация эффективности загрузки оборудования будет осуществляться на второй передаче с шестью рабочими зубьями. По сравнению с первой передачей эффективность будет выше на 1,64%, третьей – 0,72%, четвертой – 1,17%. На любых из этих передачах тяговые свойства базового шасси позволяют использовать до шести

рабочих зубьев в оборудовании. Ввиду низкой несущей способности грунтов эффективность загрузки оборудования снижается до 70% при работе с базовым шасси Л1221 и Л82.2, но применение базового шасси Л82.2 эффективнее на 15,88% вследствие меньшей массы и использования понижающего редуктора, что позволяет повысить тяговые свойства машины.

При применении на сборе лесосечных отходов в качестве базового шасси МТЗ-320 установлено, что на грунтах I типа наибольшая эффективность достигается на четвертой передаче при установке технологического оборудования на переднем бруске трактора и работе без понижающего редуктора. В таком случае количество рабочих зубьев в оборудовании достигается пяти. Однако такое достижение эффективности реализуется при рабочей скорости базового шасси на операции сбора 4,1 км/ч, что может привести к значительным динамическим нагрузкам. Поэтому целесообразно применять первую и вторую передачи, так как при них реализуются допустимые рабочие скорости с шестью рабочими зубьями. Однако эффективность на этих передачах будет ниже на 17,7–30,6%, чем на четвертой. Это связано с увеличением времени, затрачиваемым на операции технологического цикла. При сравнении наилучших эффективностей базовых шасси МТЗ-320 с Л82.2 и Л1221 установлено, что при применении Л82.2 эффективность выше на 12,72%, а Л1221 ниже на 1,34%. Снижение эффективности Л1221 по сравнению с МТЗ-320 связано с тем, что эффективность загрузки первого лежит в более высоких загрузочных диапазонах и реализует весь свой энергетический потенциал при волочении пачки 5 м³, а загрузочный диапазон МТЗ-320 останавливается при волочении 2 м³. Стоит отметить, что движение без понижающего редуктора возможно только на четвертой передаче, применение передач выше невозможно ввиду низких тяговых свойств. Применение понижающего редуктора позволяет увеличить количество рабочих зубьев до шести, однако снижает эффективность на 46,7% ввиду затраты большего количества времени на выполнение операций технологического цикла.

Установка технологического оборудования на задней гидравлической навеске базового шасси МТЗ-320 приводит к достижению наилучшей эффективности на второй передаче заднего хода без применения понижающего редуктора. В таких условиях количество рабочих зубьев достигается пяти. Установка технологического оборудования на задней гидравлической навеске снижает эффективность на 7,84% при условии, что количество рабочих зубьев на переднем бруске достигает шести. Эксплуатация базового шасси МТЗ-320 с технологическим оборудованием на грунтах II типа невозможно в связи с низкими тяговыми и сцепными свойствами.

УДК 630

О.И. Григорьева, доц., канд. с.-х. наук (СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург);

О.И. Гринько, асп. (БрГУ, г. Братск);

И.В. Григорьев, проф., д-р техн. наук (АГАТУ, г. Якутск)

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ЛЕСНОЙ ЭКОСИСТЕМЫ ПОСЛЕ ЛЕСНОГО ПОЖАРА

Постепенно теплеющий климат все острее ставит проблемы лесных пожаров в Российской Федерации, особенно в Сибири и на Дальнем Востоке [1]. Одной из основных проблем является обеспечение эффективного восстановления лесов, пройденных лесным пожаром, по аналогии с восстановлением после рубки леса [2, 3].

Современное лесное законодательство России во многом делает упор на искусственное лесовосстановление [4, 5]. Но в Сибири и на Дальнем Востоке в восстановлении после лесных пожаров нуждаются огромные, часто труднодоступные площади, которые, как и сотни лет назад, восстанавливаются естественным способом.

Анализ литературных источников показывает наличие пробела, заключающегося в отсутствии математической модели, позволяющей качественно прогнозировать результаты естественного восстановления многокомпонентной лесной среды, пройденной лесным пожаром.

Рассмотрим развитие многокомпонентной экосистемы, включающей в себя хвойные и лиственные деревья младшей, средней и старшей возрастной группы. В качестве основы математической модели примем положения [6], описывающие развитие древесных ценозов:

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = \rho - \varphi - \gamma, \\ \frac{dv}{dt} = \varphi - \mu - \psi, \\ \frac{dw}{dt} = \mu - \kappa, \end{cases} \quad (1)$$

где ρ – функция роста, φ – функция перехода деревьев младшей возрастной группы в среднюю, γ – функция отпада деревьев младшей возрастной группы, μ – функция перехода деревьев средней возрастной группы в старшую, ψ – функция смертности средней возрастной группы, κ – функция смертности старшей возрастной группы, u , v , w – концентрации соответственно младшей, средней и старшей возрастной группы:

$$u = \frac{s_1}{s_0} x(t), v = \frac{s_2}{s_0} y(t), w = \frac{s_3}{s_0} z(t), \quad (2)$$

где $x(t)$, $y(t)$, $z(t)$ – количество деревьев соответственно младшей, средней и старшей возрастной группы, s_1 , s_2 , s_3 – проекции деревьев

соответственно младшей, средней и старшей возрастной группы, s_0 – площадь, занятая древесным ценозом.

Общий вид функций ρ , φ , γ , μ , ψ , κ зависит от принимаемых предпосылок к исследованию, вкладываемого биологического смысла, и до настоящего времени не установлен. Примем следующие допущения:

- Возникновение подроста связано, в основном, с наличием деревьев старшей возрастной группы и пропорционально их концентрации.
- Количество хвойных и лиственных деревьев, переходящих из младшей в среднюю возрастную группу, пропорционально концентрациям и обратно пропорционально классам возраста.
- Основное влияние на деревья младшей возрастной группы оказывают деревья среднего возраста [6], причем угнетение пропорционально концентрации деревьев средней возрастной группы.
- Количество хвойных и лиственных деревьев, переходящих из средней возрастной группы в старшую, пропорционально концентрациям средних групп и обратно пропорционально классам возраста.
- Смертность деревьев средней возрастной группы пропорциональна их концентрации.
- Смертность деревьев старшей возрастной группы пропорциональна их концентрации и обратно пропорциональна продолжительности жизни.

Исходные данные для расчетов и проверки хода роста возможно получать при помощи специальной беспилотной техники [7].

Тогда запишем:

$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = rw - fu - gvu, \\ \frac{dv}{dt} = fu - mv - pv, \\ \frac{dw}{dt} = mv - kw, \end{cases} \quad (3)$$

где r – коэффициент рождаемости, f – коэффициент перехода деревьев младшей возрастной группы в среднюю, g – коэффициент отпада деревьев младшей возрастной группы, m – коэффициент перехода деревьев средней возрастной группы в старшую, p – коэффициент смертности средней возрастной группы, k – коэффициент смертности старшей возрастной группы.

В нашем исследовании рассматривается восстановление ценоза после пожара. Таким образом, в первые годы будут отсутствовать деревья среднего и старшего возраста. Тогда, для строгости, дополним уравнения (3):

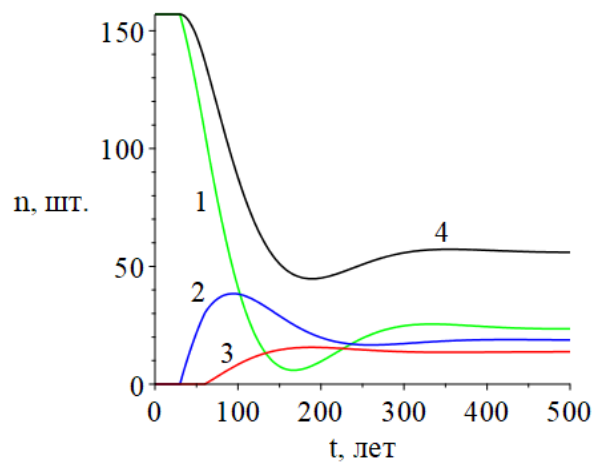
$$\begin{cases} \frac{du}{dt} = rw - fu \text{He}(t - t_v) - gvu, \\ \frac{dv}{dt} = fu \text{He}(t - t_v) - mv \text{He}(t - t_w) - pv, \\ \frac{dw}{dt} = mv \text{He}(t - t_w) - kw, \end{cases} \quad (4)$$

где t_v – возраст, соответствующий переходу в среднюю возрастную группу, t_w – возраст, соответствующий переходу в старшую возрастную группу, $\text{He}(\xi)$ – единичная функция:

$$\begin{cases} \text{He}(\xi) = 1, \xi \geq 0 \\ \text{He}(\xi) = 0, \xi < 0 \end{cases} \quad (5)$$

где ξ – аргумент функции (6).

Получить точное решение системы дифференциальных уравнений (4) сложно, в связи с чем будем ориентироваться на получение численного решения, например, с использованием метода Рунге-Кутты 4-5 порядка точности. Для реализации математической модели (4) необходимые числовые оценки коэффициентов r, f, g, m, p, k . Например, при $g = 3,75 \cdot 10^{-2}$, $p = 3,125 \cdot 10^{-3}$, $k = 9,375 \cdot 10^{-3}$, $f = 7,906 \cdot 10^{-3}$, $m = 6,88 \cdot 10^{-3}$, $r = 6,47 \cdot 10^{-2}$ и $s_0 = s_1 = s_2 = s_3 = 1$, $t_v = 30$ лет, $t_w = 60$ лет, $x(0) = 157$ шт., $y(0) = 0$, $z(0) = 0$, получим результаты, представленные на рисунке 1.



1 – младшая возрастная группа, 2 – средняя возрастная группа,
3 – старшая возрастная группа, 4 – общее число деревьев на участке

Рисунок 1 - Пример результатов расчета восстановления древостоя после пожара

ЛИТЕРАТУРА

1. Куницкая О.А., Новгородов Д.В., Марков О.Б. Проблемы эффективной переработки поврежденной лесным пожаром древесины // Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник научных статей по материалам Внутривузовской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всероссийской студенческой научно-

практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2021». 2021. С. 285-291.

2. Куницкая О.А., Никитина Е.И., Николаева Ф.В. Особенности лесозаготовки в Республике Саха Якутия // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 255-летию Землеустройству Якутии и Году науки и технологий. Якутск, 2021. С. 308-313.

3. Куницкая О.А., Никитина Е.И. Экологические аспекты выборочных рубок леса // Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации. сборник статей III Международной научно-технической конференции "Минские научные чтения-2020" : в 3 томах. Белорусский государственный технологический университет, Представительство федерального агентства по делам СНГ, соотечественников, проживающих за рубежом, и по международному гуманитарному сотрудничеству (Россотрудничество) в Республике Беларусь. Минск, 2021. С. 286-291.

4. Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Baranova T., Shadrina S., Grin'Ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2021. Т. 18. № 2. С. 19-26.

5. Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. Т. 8. № 4. С. 1385-1393.

6. Гавриков Л., Секретенко О.П., Хлебопрос Р.Г. Анализ структуры древесных ценозов, Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. 94 с.

7. Григорьев Г.В., Дмитриева И.Н., Куницкая О.А. Беспилотная техника для целей лесного комплекса и мониторинга состояния водных объектов // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2021. № 10. С. 3-10.

УДК 630

С.Е. Рудов, ст. преп., канд. техн. наук
(ВАС Буденного, г. Санкт-Петербург);

О.И. Григорьева, доц., канд. сельхоз. наук
(СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург);

И.В. Григорьев, проф., д-р техн. наук (АГАТУ, г. Якутск)

ЭФФЕКТИВНОЕ ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕСОВ НА ВЕЧНОЙ МЕРЗЛОТЕ

В Российской Федерации значительная часть ресурсов спелых и перестойных эксплуатационных лесов расположена в лесах на вечной мерзлоте (лесах криолитозоны). Леса на вечной мерзлоте занимают более 50% общей площади лесного фонда России [1, 2]. Эти леса относятся к особо ранимым экосистемам и требуют особых технологий и технических решений для их эффективного освоения [3].

Ввиду сложных климатических условий темпы прироста древесной фитомассы в лесах на вечной мерзлоте небольшие, но в них произрастает очень ценный древесный ресурс, который может быть эффективно переработан в востребованную товарную продукцию после механической или химической переработки [4-7].

Ввиду большой удаленности и крайне плохо развитой дорожной сети, процент освоения расчетной лесосеки в лесах на вечной мерзлоте весьма небольшой. Это приводит к накоплению больших запасов перестойных лесов, которые часто обновляются путем катастрофических лесных пожаров.

Произошедшие летом 2021 г. катастрофические лесные пожары в Республике Саха (Якутия), а также ряде других субъектов Сибири и Дальнего Востока, не только причинили колоссальный экономический и экологический ущерб, но и остро поставили вопрос об оптимальном выборе техники и технологии для проведения лесовосстановительных работ с весны 2022 г.

Большая часть образовавшихся гарей в Республике Саха (Якутия), а также ряде других субъектов Сибири и Дальнего Востока, характеризуется большими площадями, значительным удалением от населенных пунктов и трудной доступностью, с точки зрения рельефа и дорожной сети. Чем более был удален и труднодоступен очаг пожара, тем большую площадь он успевал пройти до его локализации и тушения.

Традиционными для современного лесного хозяйства России методами (содействие естественному лесовосстановлению, например, минерализация почвы, различные варианты полных циклов искусственного лесовосстановления, или их сочетание – комбинированное

лесовосстановление [8-10]) обеспечить быстрое и качественное лесовосстановление на больших и труднодоступных площадях гарей невозможно и очень затратно. По прошествии ряда лет гари начнут зарастать дерниной и мелкоколесьем из сорных мягколиственных пород. В этой связи остро встает вопрос о выборе наиболее оптимального варианта лесовосстановления в указанных природно-производственных условиях.

Вариант восстановления лесов после рубок и пожаров, а также выращивания целевых лесонасаждений при помощи посева семян достаточно хорошо известен.

Согласно пункту № 47 Приказа Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, от 04.12.2020 г, № 1014 «Об утверждении Правил лесовосстановления, состава проекта лесовосстановления, порядка разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений». Искусственное восстановление леса посевом семян допускается на лесных участках со слабым развитием травянистого покрова... На свежих паловых вырубках с супесчаными и хорошо дренированными суглинистыми почвами, на которых огонь вызвал полное прогорание лесной подстилки, возможно проведение искусственного лесовосстановления аэросевом. Оптимальное время аэросева семян хвойных пород - весна (апрель - по снежному покрову, первая и вторая декады мая - непосредственно после таяния снега). Допустимыми нормами высева семян первого класса сортности при аэросеве считаются: на паловых и кипрейно-паловых вырубках с обнажением поверхности почвы огнем 70-80% - для сосны 1,0, для ели 1,2 кг; на свежих вырубках из-под зеленомошных типов леса с минерализацией почвы более 40% - для сосны 1,5, для ели 1,8 кг на га.

В условиях лесов на вечной мерзлоте, характерных для Республики Саха (Якутия), а также ряда других субъектов Сибири и Дальнего Востока, травянистый покров (дернина) развивается слабо, или не развивается вовсе. Поэтому вариант аэросева для восстановления удаленных и труднодоступных гарей является для данных природно-производственных условий оптимальным.

Особенностью аэросева является возможность быстрого лесовосстановления при невысоких затратах, что крайне актуально в сложившейся ситуации после катастрофических лесных пожаров 2021 г. в Республике Саха (Якутия) и ряде других субъектов Сибири и Дальнего Востока. Применение дражированных семян позволяет повысить грунтовую всхожесть и сохранность всходов, снизить расход семян, производить точечный посев и обеспечивает получение высококачественных сеянцев. Высевание дражированных семян помогает решать

такие проблемы, как заболеваемость и гибель в условиях неблагоприятных почвенно-климатических условиях. При введении дополнительных добавок можно ускорить прорастание семян и улучшить рост сеянцев. Дражирование семян также позволяет обеспечить более точный высев семян с соблюдением расстояний между ними.

Аэросев с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) сейчас чаще выполняется семенами в искусственных оболочках. Часто они имеют правильную сферическую форму и незначительные отклонения размеров. Это облегчает работу высевующих механизмов точного посева с дополнительным пневматическим ускорением семени [11]. Подобный тип дражированных семян использован в лесных высевующих комплексах нескольких зарубежных компаний, например: Dendra Systems, Flash Forest, DroneSeed, AirSeed Technologies. Их особенностью являются высокие требования к прочности искусственной оболочки, которая не должна разрушаться при ударном взаимодействии с почвой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Куницкая О.А., Никитина Е.И., Николаева Ф.В. Особенности лесозаготовки в Республике Саха Якутия // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 255-летию Землеустройству Якутии и Году науки и технологий. Якутск, 2021. С. 308-313.

2. Никитина Е.И., Куницкая О.А., Николаева Ф.В. Проект организации лесозаготовок в условиях алданского лесничества с применением многооперационных лесозаготовительных комплексов // современные проблемы и достижения аграрной науки в Арктике. Сборник научных статей по материалам Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2020» (29–30 сентября 2020 г., Якутск) и Международной научной онлайн летней школы – 2020 (6–20 июля 2020 г., Якутск). 2020. С. 138-148.

3. Абузов А.В., Куницкая О.А. Определение массы грузозахватного срезающего механизма для аэростатной системы трелевки // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1 (37). С. 96-104.

4. Куницкая О.А. Направления комплексной переработки хвои лиственницы даурской // Повышение эффективности лесного комплекса. материалы Пятой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 58-59.

5. Куницкая О.А., Пудова Т.М., Никитина Е.И. Перспективные направления переработки низкотоварной древесины и древесных отходов в Республике Саха (Якутия) // Потенциал науки и образования: современные исследования в области агрономии, землеустройства, лесного хозяйства. 2019. С. 14-18.

6. Никитина Т.А., Шестаков Ю.Д., Лабудин Б.В., Куницкая О.А., Тихонов Е.А., Калита А.Ю. Прочностной ресурс древесины лиственницы беломорского севера при сжатии в главных и диагональных осях анизотропии // Деревообрабатывающая промышленность. 2020. № 4. С. 21-31.

7. Куницкая О.А. Повышение эффективности лесной промышленности Республики Саха (Якутия) путем развития лесохимических технологий // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020. С. 88-89.

8. Morkovina S.S., Kunickaya O., Dolmatova L., Markov O., Nguyen V.L., Varanova T., Shadrina S., Grin'ko O. Comparative analysis of economic aspects of growing seedlings with closed and open root systems: the experience of Russia // Asian Journal of Water, Environment and Pollution. 2021. Т. 18. № 2. С. 19-26.

9. Давтян А.Б., Куницкая О.А., Григорьев М.Ф., Степанова Д.И., Григорьева А.И. Основы повышения эффективности систем машин для создания и эксплуатации лесных плантаций // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 56. С. 19-22.

10. Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // Journal of Environmental Treatment Techniques. 2020. Т. 8. № 4. С. 1385-1393.

11. Лысыч М.Н., Бухтояров Л.Д., Чернышов В.В., Нагайцев В.М. Обзор современных технологий аэросева лесных культур с применением беспилотных летательных аппаратов // Успехи современного естествознания. 2021. № 10. С. 37-42.

УДК 630

А.Б. Давтян, асп. (ВГУИТ, г. Воронеж);
О.И. Григорьева, доц., канд. сельхоз. наук
(СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург);

И.В. Григорьев, проф., д-р техн. наук (АГАТУ, г. Якутск)

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ЛЕСНЫЕ ПЛАНТАЦИИ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВОВЛЕЧЕНИЯ В ОБОРОТ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ В РФ

С 01.01.2022 г. в Российской Федерации начала действовать Государственная программа эффективного вовлечения в оборот земель сельскохозяйственного назначения и развития мелиоративного комплекса Российской Федерации, утвержденная Постановлением Правительства РФ от 14.05.2021 г. № 731.

Безусловно, необходимость проведения масштабных работ в этом направлении возникла в России давно. Даже не со времен развала СССР, а значительно раньше, когда многие получавшие паспорта граждане СССР, проживавшие в сельской местности, начали перебираться в города. Особенно эта тенденция была свойственна молодежи, начиная еще с 60-х годов XX века.

Постепенно отток населения из сельской местности усиливался, остающееся население старело, и сокращалось из-за естественной убыли. С каждым годом становилось все больше заброшенных деревень и сел, и, соответственно, заброшенных сельскохозяйственных земель.

Развал СССР, и последовавший за ним экономический кризис, привел к еще большему ускорению «вымирания» сельской местности России, и соответственному увеличению площади заброшенных сельскохозяйственных земель.

За последние годы можно было встретить достаточно разные данные о площадях неиспользуемых по назначению (заброшенных) сельскохозяйственных земель. Встречались цифры и 50 млн га, и 60 млн га, и даже 76 млн га.

Точной официальной цифры, наверное, и не существует, поскольку первой целью упомянутой Государственной программы является: «получение достоверных и актуальных сведений о количественных характеристиках и границах земель сельскохозяйственного назначения в отношении 100% земель сельскохозяйственного назначения, включая количественные и качественные характеристики сельскохозяйственных угодий, вовлекаемых в оборот, к концу 2025 г». Но ориентируясь на данные той же Программы, можно указать цифру из

цели 2 «вовлечение в оборот земель сельскохозяйственного назначения площадью не менее 13234,8 тыс. га к концу 2031 г».

Тринадцать млн га – это огромная цифра, хотя по нашим наблюдениям «вымирания» сельской местности в Иркутской области, Краснодарском крае, и ряде других субъектов РФ (визуальном сравнении ранее используемых и заброшенных в настоящее время площадей), установленный в упомянутой Программе показатель должен быть только первым шагом к полному, комплексному, рациональному использованию сельскохозяйственных земель России.

Судя по статистическим отчетам последних лет, Российское сельское хозяйство добилось очень больших успехов в обеспечении продовольственной безопасности страны, выходе на ведущие позиции в экспорте продукции, обновлении машинного парка и использовании самых передовых технологий. Но проблема эффективного использования заброшенных земель сельхозназначения, по-прежнему стоит очень остро, несмотря на увеличение штрафных санкций к собственникам этих земель, и повышение закупочных цен на сельхозпродукцию.

На наш взгляд, с учетом острой нехватки рабочих рук в сельском хозяйстве, одним из наиболее эффективных направлений использования заброшенных в настоящее время земель сельхозназначения является выращивание на них целевых древесно-кустарниковых плантаций различного назначения, например, энергетического.

По трудоемкости их создания и эксплуатации они требуют значительно меньше ресурсов, кроме того, они позволят решить еще две остро стоящие проблемы – обеспечение лесопромышленного комплекса необходимым древесным сырьем, и энергией, а также переход экономики страны на карбоновую нейтральность [1-3].

Известно, что постоянный рост расстояния вывозки заготовленной древесины в Сибири и на Дальнем Востоке уже вызвал рост себестоимости продукции лесного комплекса, и снизил его рентабельность. Необходимость освоения все более удаленных эксплуатационных массивов спелых и перестойных лесов требует масштабного дорожного строительства, обостряет кадровую проблему, увеличивая масштабы использования вахтового метода организации труда в лесозаготовительном производстве. Все это и приводит к удорожанию древесины и продукции из нее.

В заброшенной сельской местности по-прежнему осталась здания и сооружения, транспортная сеть, центральное электроснабжение, которые, возможно после некоторого ремонта, вполне можно исполь-

зовать для целей создания и эксплуатации лесных плантаций, вкупе с местными кадрами, если таковые остались.

К сожалению, в Российской Федерации совсем нет опыта создания и эксплуатации лесных плантаций. В этом наша страна существенно отстает от развитых лесопромышленных стран. Во многом это связано с несовершенством законодательной базы в данной области. законодательная борьба за возможность выращивания целевых лесных плантаций на землях сельхозназначения ведется достаточно давно. Не однократно вопросы на эту тему поднимались в рамках Национального лесного форума (2019 г.) [4]. 21.09.2020 г. вышло Постановление Правительства РФ от № 1509 «Об особенностях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, расположенных на землях сельскохозяйственного назначения». Оно было воспринято лесной общественность очень положительно, как большой шаг вперед в решении вопроса о создании и эксплуатации лесных плантаций. Однако затем в Минприроды были разработаны поправки к указанному постановлению, по сути, сводящие его на нет.

Помимо необходимого законодательного обеспечения, оптимального посадочного материала и технологии выращивания плантационных древесно-кустарниковых насаждений, для успешного ведения лесоплантационного бизнеса необходим оптимальный выбор систем машин для конкретных природно-производственных условий. Прежде всего, условия работы систем машин для создания и эксплуатации лесных плантаций существенно отличаются от заготовки древесины в спелых и перестойных лесах. Как показал предварительный анализ, в данном случае желателен модульный принцип, позволяющий сочетать выполнение различных, разделенных во времени, работ одними и теми же энергетическими модулями, в паре с различными технологическими и транспортными модулями. Причем, при проектировании систем машин необходимо учитывать возможность получения энергии из выращиваемой древесно-кустарниковой фитомассы для работы машин, задействованных в лесоплантационном производстве [5-7].

Понятно, что в создание и эксплуатацию лесных плантаций требуется вложить труд, финансы (на приобретение посадочного материала, машин, оплату труда), требуется определенное время на выращивание энергетической древесно-кустарниковой фитомассы, ее последующую переработку. Но при этом, в процессе роста лесной плантации получают известные из курса лесоведения экологические эффекты, включая карбоновый, а также древесное сырье.

Одним из наиболее положительных эффектов является создание новых рабочих мест, эффективное освоение земельных ресурсов, вклады в бюджеты различных уровней, вместо финансового ущерба от неиспользуемого актива.

ЛИТЕРАТУРА

1. Kunickaya O., Tanyukevich V., Khmeleva D., Kulik A., Runova E., Savchenkova V., Voronova A., Lavrov M. Cultivation of the targeted forest plantations // *Journal of Environmental Treatment Techniques*. 2020. Т. 8. № 4. С. 1385-1393.

2. Григорьев В.И. Лесные плантации в Азиатско-Тихоокеанском регионе // *Наука и инновации: векторы развития. Материалы Международной научно-практической конференции молодых ученых. Сборник научных статей. В 2-х книгах*. 2018. С. 75-78

3. Григорьев В.И. Возможности развития импорта российского твердого биотоплива // *Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Шестой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2020*. С. 44-45.

4. Куницкая О.А. Национальный лесной форум продолжает путь // *Леспроминформ*. 2019. № 4 (142). С. 174-177.

5. Куницкая О.А., Помигуев А.В. Функциональные возможности и эксплуатационные характеристики средств энергоснабжения лесных терминалов // *Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021*. С. 102-103.

6. Куницкая О.А., Помигуев А.В. Эффективная система преобразования тепловой энергии в электрическую для энергоснабжения лесных терминалов // *Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021*. С. 104-105.

7. Куницкая О.А., Стородубцева Т.Н., Помигуев А.В. Энергоресурсосберегающие технологии электроснабжения лесных терминалов // *Эколого-ресурсосберегающие технологии в науке и технике. материалы Всероссийской научно-технической конференции. Воронеж, 2021*. С. 112-117.

УДК 630

В.А. Каляшов, доц., канд. техн. наук (СПбГАСУ, г. Санкт-Петербург);

О.А. Куницкая, проф., д-р техн. наук (АГАТУ, г. Якутск);

О.И. Григорьева, доц., канд. с.-х. наук (СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И СИСТЕМЫ МАШИН ДЛЯ ЗАГОТОВКИ ДРЕВЕСИНЫ НА СКЛОНАХ

Актуальность задачи эффективного освоения лесосек на склонах гор, сопок, и холмисто-рядовых рельефов, прежде всего, обусловлена истощением доступных, спелых, равнинных эксплуатационных лесов в Сибири и на Дальнем Востоке, которые некогда, не совсем корректно, назывались лесоизбыточными регионами Российской Федерации. Удобные для освоения эксплуатационные лесные массивы в Сибири и на Дальнем Востоке во многом исчерпаны. Для освоения новых необходимо масштабное дорожное строительство, что требует очень значительных финансовых затрат и снижает и без того низкую рентабельность лесозаготовительного производства. Впрочем, она снижается и из-за постоянно растущего плеча вывозки заготовленной древесины, даже если не брать во внимание затраты на строительство и содержание новой сети лесовозных дорог. Лесные экосистемы, расположенные на склонах, относятся к наиболее уязвимым. При работе на склонах традиционных систем машин лесозаготовительного производства приходится нарезать серпантин волоков, которые в дальнейшем становятся концентраторами водной и ветровой эрозии [1, 2]. В настоящее время ведущими компаниями-производителями машин и оборудования для лесной отрасли, такими как Ponsse, John Deere, Komatsu, и др. разработаны технические решения, существенно облегчающие работу комплексов лесных машин [3, 4]. К таким решениям, прежде всего, относятся интегрированные в трансмиссии машин лебедки (рисунок 1). Другим решением является использование отдельных самоходных лебедок на дистанционном управлении оператором лесной машины, например, T-winch (рисунок 2), или ROV (рисунок 3). В этом случае машина не получает дополнительной массы от интегрированной в нее лебедки, однако негативное воздействие лесных машин на почвогрунты при этом никуда не уходит, но имеет свою существенную специфику.

На Дальнем Востоке России значительные площади спелого древостоя сосредоточены не только на территориях с плотным наличием резко пересеченного рельефа и крутых склонов, но и в местах с частичным наличием сильно переувлажненных грунтов, заболоченности и топей. Особенностью данных территорий является то, что основные площади, где произрастает качественный древостой, сосредото-

точены на крутых склонах, которые в нижней своей части часто соприкасаются с гидрологическими системами (болотами, речками).



Рисунок 1 – Харвестер Ponsse Ergo с лебедкой Synchronwinch



Рисунок 2 – Валочно-пакетирующая машина с лебедкой T-Winch



Рисунок 3 – Бульдозер с дистанционным управлением (ROB) для вырубki крутых склонов

В последние годы проблема эффективного освоения расчетной лесосек в России встала весьма остро, это связано, во-первых, с повышением среднемесячных температур в зимнее время года, что привело к невозможности освоения лесосек на переувлажненных почвогрунтах, традиционно разрабатываемых в зимний период, во-вторых, с истощением запасов спелого леса в удобных для освоения лесных массивах – расположенных на равнинных сухих площадях.

Особо следует подчеркнуть экологический аспект проведения лесосечных работ в условиях горных склонов, а также холмисто-рядовых рельефов. Известно, что биогеоценозы на указанных площадях являются особо ранимыми и чувствительными к сильной экологической нагрузке, каковой, безусловно, являются лесосечные работы [5, 6]. Вместе с тем, первейшим требованием к лесопользованию является его неистощительность, и обязательное способствование расширенному воспроизводству лесных ресурсов – процессу непрерывного расширения производительной способности лесных биогеоценозов.

На экосистему лесосеки существенное влияние оказывает не только способ и интенсивность рубки, но принятая система машин и режимы их работы. Многочисленные исследования показывают, что движители лесных машин разрушают структуру почвогрунта лесосек, повреждают корневую систему оставляемых на корню деревьев, что в перспективе приводит водной и ветровой эрозии лесных почвогрунтов, усыханию оставляемых на корню деревьев главных пород [7].

Канатные трелевочные установки на лесозаготовках в России практически не встречаются в настоящее время. Традиционная лесозаготовительная техника становится нестабильной при уклонах от 15°. И обычно может использовать только в течение 7 месяцев в году, так как на переувлажненных от дождя или снеготаяния почвогрунтах невозможно безопасно работать в остальное время года. Лебедки обеспечивают надежное крепление машины на склонах, снижают нагрузки в трансмиссиях машин, а также позволяют снижать негативное воздействие на лесные почвогрунты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абузов А.В., Григорьев И.В. Конструктивные особенности канатных лесотранспортных систем на мягких пневматических опорах // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1 (37). С. 86-95.
2. Григорьев И.В., Зорин М.В., Рудов М.Е. Современные способы укрепления временных лесовозных дорог и трелевочных волоков // Управление земельными ресурсами, землеустройство, кадастр, геодезия и картография. Проблемы и перспективы развития. Сборник мате-

риалов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 255-летию Землеустроюству Якутии и Году науки и технологий. Якутск, 2021. С. 278-285.

3. Рудов С.Е., Григорьев И.В. Правила эффективной эксплуатации форвардеров // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 166-168.

4. Рудов С.Е., Григорьев И.В. Пути повышения эффективности работы систем машин для сортиментной заготовки древесины // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 168-169.

5. Григорьев И.В., Просужих А.А., Рудов С.Е. Перспективы использования систем контроля давления в шинах лесных и сельскохозяйственных машин // Машиностроение: новые концепции и технологии. Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 2020. С. 40-45.

6. Григорьев И.В., Рудов С.Е. Перспективы создания транспортных средств для лесозаготовительного производства в арктической зоне // Лесозаготовка и комплексное использование древесины. Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции. Красноярск, 2021. С. 70-74.

7. Григорьев И.В., Заровняев Т.Д. Способы повышения работоспособности трелевочных волоков на слабонесущих почвогрунтах // Эколого-экономические и технологические аспекты устойчивого развития Республики Беларусь и Российской Федерации. сборник статей III Международной научно-технической конференции: в 3 т. Минск, 2021. С. 240-243.

УДК 674.038

Н.Л. Беляев, региональный представитель (Timbeter, г. Таллин);
О.А. Куницкая, проф., д-р техн. наук (АГАТУ, г. Якутск)

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОПТИЧЕСКОГО ГРУППОВОГО УЧЕТА КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ

Под учетом лесоматериалов в данном контексте будем понимать совокупность операций по регистрации состояния, места нахождения и перемещений лесоматериалов, их измерению и контролю качества, обеспечивающих получение данных о количестве и качестве заготовленной древесины и лесоматериалов.

Технологии учёта лесоматериалов в зависимости от применяемых методов измерений можно поделить на поштучные и групповые.

С развитием технологий вышеперечисленные регистрационные действия происходят во всё более сжатые временные промежутки так, что становится сложнее отделить регистрационные, контрольные и измерительные операции друг от друга. Эти процессы из отдельного набора операций, производимых человеком вручную, постепенно автоматизируются, представляя из себя в настоящий момент комбинацию ручных и автоматизированных действий, где доля ручных операций сокращается, уступая место машинным. В свою очередь, методы измерений тоже не стоят на месте и развиваются, являя собой как модификации уже известных методов, так и сочетания двух и более методов, появляющихся под влиянием следования наибольшей экономической целесообразности и повышения эффективности учётных работ.

Какие же учётные данные мы можем получать в автоматизированном режиме, а какие до сих пор приходится вводить вручную?

Учёт лесоматериалов подразумевает не только измерение объёма партии, но и определение (а также регистрацию) других характеристик, и само ведение реестра с требуемым набором параметров, или выражаясь компьютерным языком, атрибутов. В качестве таких атрибутов могут выступать количественные и качественные характеристики лесоматериалов, их изображение, время и место фиксации, ответственное лицо, транспортное средство, маршрут перемещения и т. п.

Из всех атрибутов учёта только часть может быть определена или измерена, даже потенциально. Остальные параметры учёта просто фиксируются в системе учёта на основании ранее полученных данных. Причём, некоторые показатели остаются неизменными, а некоторые изменяются (усушка, потеря качества, смена владельца и т. п.). Что касается деления методов учёта на групповые и поштучные, то в

этом плане на наших глазах происходит конвергенция элементов группового и поштучного учёта, и она становится возможной на базе использования новейших технологий по оптическому распознаванию лесоматериалов.

Оптические системы начинают всё шире использоваться в учёте лесоматериалов. Оптические системы можно условно разделить по видам «носителей» и устройств (средств базирования), на которые они установлены. В настоящий момент применение находят оптические системы на базе:

- Измерительных рамок – сканеров.
- Беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).
- Передвижного измерительного комплекса на базе автомобиля.
- Стационарных камер слежения.
- Смартфона или планшета (ТСД).

Оптические технологии видимого диапазона применительно к измерениям круглых лесоматериалов (КЛМ) успешно соседствуют с другими технологиями дистанционного зондирования ближнего радиуса действия как активными, так и пассивными, и часто взаимодополняют друг друга, но рассмотрение этих составляющих съёмки оставим за рамками данного материала.

В списке носителей оптических технологий учёта наибольший интерес представляют три из них: рамки, дроны и персональные смарт-устройства, поэтому остановимся на каждом из них подробнее.

Из всех атрибутов учёта только часть может быть определена или измерена, даже потенциально. Остальные параметры учёта просто фиксируются в системе учёта на основании ранее полученных данных. Причём, некоторые показатели остаются неизменными, а некоторые изменяются (усушка, потеря качества, смена владельца и т. п.).

1. Измерительные рамки – сканеры. На рынке представлены различные варианты как промышленного, так и полукустарного производства, отечественных и зарубежных изготовителей, различающихся как по набору и технологиям используемого оборудования, так и по стоимости. Встречаются как полуавтоматические, так и полностью автоматизированные решения на базе рамок, с использованием фото и видео изображений для построения 2D и 3D моделей, с возможным использованием вспомогательных датчиков для определения расстояний и масштаба изображения. Полностью «беспилотные» решения ещё только «пробивают» дорогу на производство и представлены исключительно зарубежными производителями. Количество инсталляций сканеров промышленного производства – несколько десят-

ков штук по стране. По назначению рамки используются для измерения штабелей КЛМ на транспортных средствах.

2. БПЛА, используемые для измерения КЛМ, используют в основном стандартные алгоритмы для обработки изображений для получения облака точек и 3D моделей штабелей, но встречаются и варианты, измеряющие продольный вертикальный профиль штабеля с использованием лазерного сканирования поверхностей. Чаще для измерения КЛМ используются БПЛА вертолётного типа, а привязка к данным о местоположении осуществляется с помощью дополнительных наземных станций систем глобального позиционирования для достижения сантиметровой точности привязки к местности. Пока использование происходит разрозненно, под влиянием смежных профессий (геодезия, топография, строительство и т.п.) Используются для измерения штабелей на земле и проявляют свои преимущества при съёмке на больших местах складирования. Как и при других видах съёмки, наиважнейшим «недоработанным» по степени автоматизации признаком является КПД.

3. ТСД промышленного назначения, или бытовые смартфоны и планшеты – наиболее бюджетный вариант для внедрения технологий оптического учёта в производство, они находят всё более широкое применение на всех этапах цепочки поставок КЛМ от делянки до переработки. Различаются как сами устройства, так и ПО, предназначенное для измерения и учёта. На российском рынке представлены устройства отечественного и зарубежного производства, разработчики и производители ПО также представляют как РФ, так и зарубежные страны. Мобильность и доступность решений обуславливают некоторые ограничения по функционалу в пользу меньшей требовательности как к наличию и скорости связи с сервером, так и к скорости обработки данных. 3D и видеосъёмка уступают место 2D и ограниченному числу кадров изображений. На базе мобильных устройств нет полностью автоматизированных учётно-измерительных решений, они требуют участия человека для введения и обработки данных, что не позволяет полностью избавиться от «человеческого фактора», но обеспечивает большую гибкость использования и постепенность перехода к цифровизации производства. Могут использоваться как для съёмки КЛМ на транспортных средствах и на земле, так и для определения КПД в связке с другими измерительными методами.

Что же является общим для всех оптических решений для группового учёта КЛМ? Чаще всего, при помощи оптики мы измеряем складочный объём, который затем переводим в плотную меру при помощи коэффициента полндревесности. Предварительно оценить

КПД мы можем по торцевой вертикальной поверхности штабеля по соотношению площадей торцов и общей площади, на которой происходит определение площадей торцов. Если речь идёт об объёмах КЛМ больше нескольких десятков кубических метров, то чаще всего ни глаз, ни оптические устройства не могут получить изображение для поштучного перечёта ввиду разнонаправленности сортиментов в штабеле или препятствий для производства фотографической съёмки, будь то рельеф местности, другие штабеля, строения, или снег. В этом случае КПД может быть определён по выборке из нескольких доступных к обработке изображений с последующим распространением на всю совокупность, т.е. на весь штабель.

В качестве иллюстрации о совмещении понятий о групповом и поштучном учёте можно привести следующий: если для фотографирования доступна вся вертикальная торцевая поверхность штабеля, то при хорошей укладке возможно измерить как общую площадь всей торцевой поверхности, с получением объёма, путём перемножения этой площади на КПД и длину сортимента, так и индивидуальные площади каждого торца штабеля, в том числе и их (торцов) общее количество, что позволяет говорить о поштучном учёте (объёма) каждого бревна.

В заключение рассмотрим показатели учёта КЛМ с точки зрения их применимости и перспектив в свете оптического группового учёта, при котором наибольший интерес представляют количественные и качественные показатели. Коснёмся измеряемых, или определяемых показателей. В автоматическом режиме уже сейчас возможно определять геометрические размеры КЛМ (групповые и поштучные) и связанные с ними показатели, такие, как средний диаметр, средняя длина, группа диаметров, разбег по диаметрам и доля диаметров требуемых ступеней толщины, плотность укладки и т.п. В ближайшей перспективе в связи с развитием технологий ИИ следует ожидать функции распознавания пород древесины, идентификации пороков древесины, определения их числовых параметров, данных о сортности, структуре и взаиморасположению годовых колец, физико-химических свойствах древесины. Это позволит усовершенствовать подходы в научной и практической плоскостях в таких дисциплинах, как таксация заготовленных лесоматериалов, лесное товароведение, древесиноведение, дендрохронология, и многих других.

УДК 630

М.В. Зорин, асп. (ВГЛТУ, г. Воронеж);
О.А. Куницкая, проф., д-р техн. наук (АГАТУ, г. Якутск)

СОВРЕМЕННЫЕ СБОРНО-РАЗБОРНЫЕ ПОКРЫТИЯ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ВРЕМЕННЫХ ЛЕСНЫХ ДОРОГ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОРИДОРОВ

Вывозка заготовленной древесины всегда была одной из основных проблем лесозаготовительного производства в России. Не случившаяся зима 2019-2020 гг. в очередной раз остро поставила эту проблему. По данным Гидрометцентра России зима 2019/20 гг. стала самой теплой в России и в мире за всю историю регулярных метеонаблюдений. Прежний рекорд, установленный зимой 2015/16 гг. превышен сразу на 1,3°C. Нормы среднесезонной температуры воздуха превышены почти повсюду. На большей части территории Российской Федерации аномалии составили 6-8°C и более [1]. Лишь на северо-востоке страны средняя температура воздуха за зиму примерно соответствовала норме. В целом, среднегодовая температура повышается, это объективный процесс, отчасти он связан (в меньшей степени) с антропогенной деятельностью, в большей степени это связано с солнечной активностью. По оценкам ученых процесс потепления продолжится до 2060 г. Возможны отдельные пики, но средняя температура растет. Необходимо учитывать, что потепление это не значит жаркое лето и теплая зима. Вполне может быть холодное лето с максимум осадков и маломорозная малоснежная зима (например, лето-зима 2019-2020 г). В результате многие лесозаготовительные предприятия, традиционно ориентирующиеся на зимнюю вывозку заготовленной древесины, столкнулись с поистине непреодолимыми трудностями [2]. Некоторые лесозаготовители Северо-Запад России, поняв, что зимы уже не будет, стали искать различные альтернативные виды транспорта, включая дирижабли и аэростаты [3], но до практического их использования дело не дошло. Для решения данной проблемы известны следующие конструкции дорожных одежд: колейные из железобетонных плит; колейные из деревянных щитов на шпальном или грунтовом основании; колейные лежневые на шпальном основании; гравийные; грунтовые, улучшенные добавками дренирующих и гравийных материалов; деревогрунтовые; с покрытием из порубочных остатков (хворостяные); грунтовые; зимние ледяные и снежные, а также пластиковые маты.

К необходимости новых подходов в строительстве лесовозных дорог подводят не только изменения климата, но и новые экономиче-

ские схемы финансирования в лесной отрасли. Постепенно лесная отрасль отходит от понятия «низкий сезон», использование лизинговых инструментов приобретения машин и оборудования требует точного прогнозирования и равномерного распределения расходов и доходов. Отсюда выходит требование к долговременному планированию хозяйственной деятельности, переходу к круглогодичным лесозаготовкам, повышению ритмичности добычи древесного сырья.

Изменения климата, в первую очередь, влияют на транспортировку заготовленной древесины, и в меньшей степени на лесосечные работы. Дождливое лето и мягкая зима приводят к снижению объемов заготовки и вывозки древесины, увеличению расходов на незапланированные дорожные работы. Если из-за отсутствия проезжей дороги не успевают вывозить заготовленную древесину – падает ее качество. Растут расходы на ремонт техники [4]. Дороги разбиваются еще больше. При этом банкам и лизинговым компаниям не интересны погодные условия, и возникающие из-за них проблемы лесозаготовительных предприятий, они хотят получать свои деньги.

Многие крупные и средние лесозаготовительные компании, работающие на Северо-Западе России, в последние годы вышли на достаточно равномерный график объемов заготовки в течение всего года, с небольшими снижениями в период весенней и осенней распутиц. Более того, на ряде предприятий наблюдается тенденция увеличения объема заготовки древесины в летний период, включая рубки ухода за лесом [5, 6] при одновременном снижении объема заготовки зимой.

Это требует расширения сети временных лесовозных дорог летнего типа (летних усов). При этом лесозаготовители сталкиваются с необходимостью поиска оптимальных технических и технологических решений для удешевления строительства и содержания таких дорог, а также повышения их надежности.

Для снижения степени повреждения летних временных лесовозных дорог лесозаготовительные компании в последние начали годы начали использовать автолесовозы на шинах низкого давления. Такая практика хорошо себя зарекомендовала с точки зрения сохранности дороги, уменьшения затрат древесины и грунта на укрепление дороги, но при этом достаточно существенно растут удельный расход топлива, а также шинный бюджет предприятия [7].

В практике российских лесозаготовительных компаний известны примеры, когда тяжелыми колесными форвардерами заготовленные сортименты в полностью погруженном положении вытрелевываются на расстояние 4 км и более. При этом лесозаготовители уверены, что хорошо сэкономили на строительстве лесовозных дорог, забывая

при этом посчитать затраты на работу форвардера, не только расход топлива, но и его ремонты и техническое обслуживание, которые при этом очень существенно возрастают. Ведь форвардер конструктивно не предназначен для вывозки древесины на большие расстояния [8]. Из-за значительного увеличения среднего расстояния трелевки существенно снижается производительность форвардеров, растут затраты на их ремонты и техническое обслуживание, иногда приходится приобретать второй. Собственно из-за больших расстояний трелевки в России так популярны именно тяжелые форвардеры большой грузоподъемности.

В качестве весьма перспективной альтернативы рассмотренным выше способам строительства лесовозных усов можно использовать современные дорожные маты повышенной прочности для устройства временных подъездных путей и защиты грунта. Высокопрочные дорожные маты обеспечивают безопасный временный доступ к рабочим зонам и устойчивое дорожное покрытие как в условиях мягкого грунта, так и на твердых поверхностях. Имеют широкое разнообразие сфер применения, и выгодно отличаются простотой установки.

Современные пластиковые маты для устройства временных подъездных путей повышенной прочности, изготавливаются как методом прессования, так и экструзии. Маты имеют две разные поверхности сцепления – с шероховатой поверхностью для автомобилей и колесных лесных машин, а также с низкопрофильной поверхностью сцепления для стальных гусениц и персонала.

Маты могут быть легко демонтированы и перенесены на новый лесовозный ус, после того как в предыдущем отпадает необходимость. При правильном использовании и уходе маты обеспечивают высокие эксплуатационные показатели в течение многих лет. И, что весьма важно, все маты имеют 100 % возможность вторичной переработки.

Маты обеспечивают безопасность движения, слегка изгибаются в соответствии с контуром грунта – поэтому тщательная подготовка основания не требуется. Предотвращают сильное колеобразование – позволяют избежать расходов на восстановление грунта. Предотвращают застревание автотранспорта, что позволяет избежать прекращения работ и потерь рабочего времени. Материалы, применяемые при производстве матов, имеют абсолютную стойкость к воздействию химических веществ и масел, защищены от воздействия УФ лучей.

При помощи матов можно укладывать различные конфигурации конструкций временных транспортных путей, колеиных и сплошных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рунова Е.М., Гринько О.И., Григорьева О.И. Глобальные проблемы лесных пожаров 2021 г. И восстановление лесов // Комплексные вопросы аграрной науки и образования. Сборник научных статей по материалам Внутривузовской научно-практической конференции, посвященной 65-летию Высшего аграрного образования Республики Саха (Якутия) и Всероссийской студенческой научно-практической конференции с международным участием в рамках «Северного форума – 2021». 2021. С. 341-348.

2. Rego G.E., Voronov R.V., Grigoreva O.I. Algorithms for calculating schemes of transport routes in a felling area // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2. Сер. "II All-Russian Scientific-Technical Conference "Digital Technologies in Forest Sector"" 2021. С. 012025.

3. Абузов А.В., Григорьев И.В. Конструктивные особенности канатных лесотранспортных систем на мягких пневматических опорах // Лесотехнический журнал. 2020. Т. 10. № 1 (37). С. 86-95.

4. Григорьев И.В. Сервисные контракты для современных лесных машин // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Пятой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. 2019. С. 26-28.

5. Григорьева О.И. Эффективность транспортно-технологических систем для лесного хозяйства // Транспортные и транспортно-технологические системы. Материалы Международной научно-технической конференции. Отв. ред. Н.С. Захаров. 2018. С. 79-83.

6. Григорьева О.И. Новая машина для проведения рубок ухода за лесом // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 2-2 (13-2). С. 116-119.

7. Григорьев И.В., Просужих А.А., Рудов С.Е. Перспективы использования систем контроля давления в шинах лесных и сельскохозяйственных машин // Машиностроение: новые концепции и технологии. Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 2020. С. 40-45.

8. Рудов С.Е., Григорьев И.В. Правила эффективной эксплуатации форвардеров // Повышение эффективности лесного комплекса. Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием. Петрозаводск, 2021. С. 166-168.

УДК 630

А.А. Борозна, доц., канд. техн. наук (СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург);
М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Е.О. Сушков (ООО «Джет Моторс»);
И.Ф. Филлипович (ООО "РеалИнПроект")

**УВЕЛИЧЕНИЕ РЕСУРСА И ПОВЫШЕНИЕ
ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ УЗЛОВ И АГРЕГАТОВ
ТРАНСПОРТА В ЛЕСНОМ КОМПЛЕКСЕ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МНОГОЭТАПНОЙ
ТЕХНОЛОГИИ БЕЗ РАЗБОРНОГО РЕМОНТА**

Стратегией развития лесного комплекса Российской Федерации предусмотрено увеличение заготовок в объеме до 300 миллионов кубометров в год. Это возможно только при оснащении предприятий ЛПК транспортным комплексом, обеспечивающим высокую эффективность работы, в том числе с учетом сложных условий эксплуатации.

Анализ деятельности предприятий ЛПК РФ показывает, что системными проблемами их развития и обеспечения рентабельности является эксплуатация лесных машин в сложных природно-климатических условиях, с большими нагрузками, что приводит к быстрому механическому износу узлов и агрегатов транспорта. Наиболее распространенной причиной выхода узлов и агрегатов из строя является износ рабочих поверхностей в узлах трения, а также несовершенных и неэффективных технологий технического обслуживания и ремонтов (ТОиР), так как основные технологические процессы осуществляются вдали от сервисных центров, что приводит к частым простоям технологической цепочки и производственных бригад. Статистические отчеты показывают, что износ активной части основных фондов достигает 80%.

Для того, чтобы выжить в такой ситуации, выход может быть только один – продлить жизненный цикл существующего оборудования. Продление жизненного цикла возможно за счет проведения капитального ремонта машин, но это требует остановки производства, разборки всего оборудования, в том числе и не требующего ремонта, что требует значительных затрат времени и средств. Одним из возможных путей решения проблемы многократного продления ресурса машин и механизмов является применение энергоресурсосберегающей технологии без разборного ремонта [1, 2, 3, 4].

Повысить надежность механизмов и увеличить их ресурс, снизить расход энергоресурсов, можно применив новейшую технологию,

защищенную патентом (Патент РФ №2567543) и известную как ресурсо-восстанавливающую технологию с применением гелевой мультимолекулярной добавки (ГМД) «Fe-Do», содержащей высокодисперсные порошки минералов группы серпентина, включающие частицы lizardita, антигорита, хризотила, которые образуют на поверхностях трения покрытия, как алмазоподобные углеродные пленки [2].

Область внедрения – подшипниковые и шарнирные соединения, редуктора, рычажные передачи, насосы, силовые установки (ДВС, компрессора, газогенераторы и т. д.), промышленное (в т. ч. станочное) и крановое оборудование.

Для оценки эффективности технологии безразборного ремонта в реальных условиях в 2019 были заключены договора обслуживания с владельцами четырех экскаваторов Volvo с одинаковыми рядными 6-цилиндровыми дизельными двигателями объемом 7,2 литра с турбонаддувом D7D и примерно одинаковыми наработанными моточасами (от 6000 до 8000), работающими в одинаковых условиях (погрузка грунта с котлованов и расчистка участков). Рабочая смена у каждого экскаватора составляла 8 часов, 5 рабочих дней в неделю. Обслуживание и измерения проводились в нерабочее время еженедельно в течение 10 месяцев сотрудниками ООО «Джет Моторс». Оценка эффективности технологии проводилась на основании еженедельных измерений компрессии в каждом цилиндре, записей недельного расхода топлива и масла, оценки выброса вредных веществ, диагностических показаний топливного баланса форсунок, величины расхода картерных газов, оценки эффективности и равномерности сгорания топлива путём измерения температуры выпускного коллектора у каждого цилиндра. Все измерения проводились поэтапно, для каждого объекта была выбрана своя ресурсо-восстанавливающая технология.

Один экскаватор с минимальным количеством моточасов работал в штатном режиме без применения технологии и только с заменой масел и фильтров, вплоть до начала пропусков воспламенения во втором цилиндре на 8 месяце из-за задиров на цилиндре. Первые 5 недель все экскаваторы работали в штатном режиме для первоначального сбора статистики.

На 6 неделе на втором экскаваторе после замены масла в двигателе была проведена классическая процедура по технологии без разборного ремонта – обработка серпентиновым составом на основе слоистых силикатов магния. Процедура была повторена на 25 неделе. На 35 неделе перед сменой масла была залита стандартная промывка масляной системы. Процедура замены масла с добавлением промывки

была повторена 3 раза для оценки возможности смывания образованного при процедуре без разборного ремонта покрытия.

На третьем экскаваторе на 6 неделе перед заменой масла в начале смены в двигатель была залита промывка с кондиционером резиновых уплотнений и с добавлением мелкодисперсионного порошка офита из расчета 0,025% на объем масла. В конце смены масло было заменено и проведена стандартная процедура по технологии без разборного ремонта. Процедура была повторена на 25 неделе. На 35 неделе перед сменой масла была залита стандартная промывка масляной системы. Процедура замены масла с добавлением промывки была повторена 3 раза для оценки возможности смывания образованного при процедуре без разборного ремонта покрытия.

На четвертом экскаваторе с самым загрязненным двигателем и самым большим расходом масла на 6 неделе масло не менялось, поменялись только фильтры, но в поддон двигателя был установлен поляризатор масла с внешним электронным блоком. Это было сделано для оценки эффективности электрического воздействия на масло, которое повышает адгезию масел на поверхностях трения и тем самым уменьшает трение и изнашивание деталей, работающих в маслах [5]. Воздействие на масла электрического поля до 1000 В/см или эмиссия в них электрических зарядов с электрода повышают нагрузочную способность масляных пленок, уменьшает силу трения и изнашивание сопряжений. При этом наэлектризованное масло, проникая в сопряжения трения, отдает им электрический заряд и закрепляется в них с повышенной прочностью. На 8 неделе перед заменой масла в начале смены в двигатель была залита промывка с кондиционером резиновых уплотнений и с добавлением мелкодисперсионного порошка офита из расчета 0,025% на объем масла. В конце смены масло было заменено и проведена стандартная процедура по технологии без разборного ремонта. Процедура была повторена на 25 неделе. На 35 неделе перед сменой масла была залита стандартная промывка масляной системы. Процедура замены масла с добавлением промывки была повторена 3 раза для оценки возможности смывания образованного при процедуре без разборного ремонта покрытия.

Полученные результаты наиболее наглядны по расходу масла и представлены на графике:

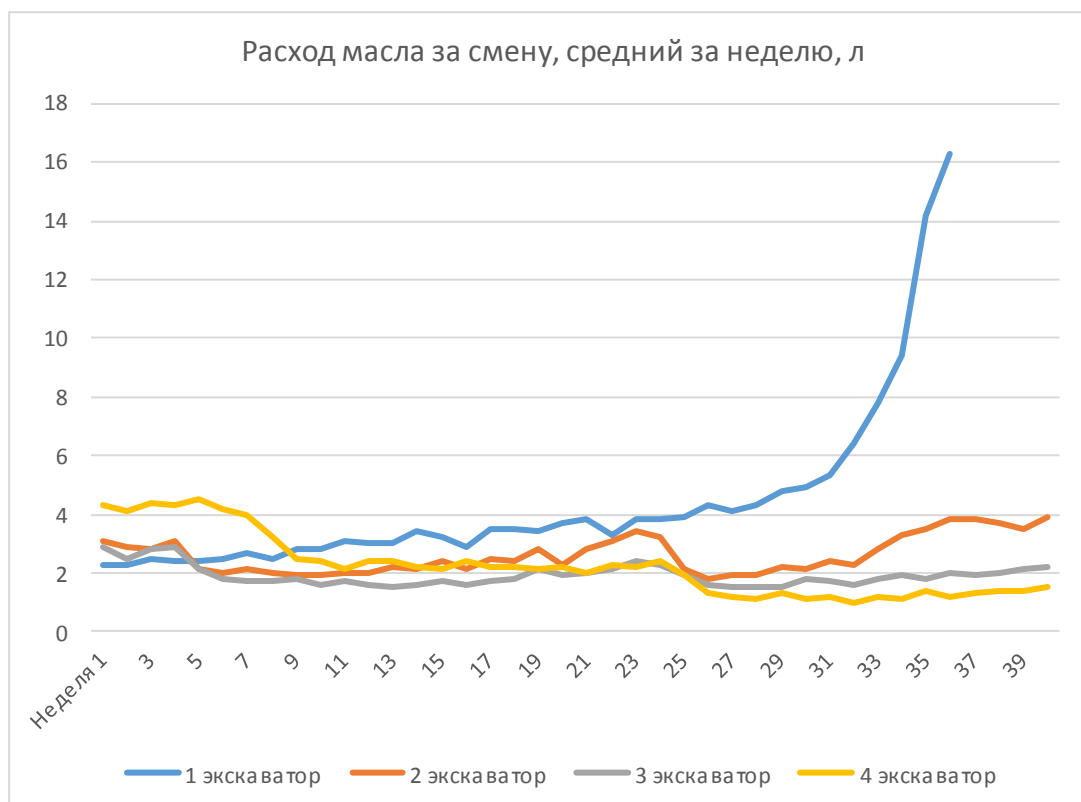


Рисунок 1 – Результаты исследований

Результаты испытаний:

– работающий в штатном режиме первый экскаватор без обработки составом проработал 8 месяцев до серьезного ремонта – потребовалась замена гильзы 2 цилиндра,

– классическая процедура по технологии без разборного ремонта на втором экскаваторе с повторением каждые 4 месяца позволила повысить и выровнять компрессию в цилиндрах, улучшить качество сгорания топлива, сохранить состояние двигателя на первоначальном уровне, уменьшить затраты на масло, значительно уменьшить расход картерных газов экономия топлива с 6 по 25 неделю составила 4%, промывка масляной системы частично смыла образованное при процедуре без разборного ремонта покрытие, снижение выбросов оксидов углерода на 13%, углеводородов на 32%, дымового числа на 27%,

– доработанная многоэтапная процедура без разборного ремонта на 3 экскаваторе позволила улучшить состояние двигателя за счет предварительной подготовки поверхности к обработке серпентиновым составом, благодаря чему экономия топлива с 6 по 25 неделю составила 7%, и промывка масляной системы практически не повлияла на образованное покрытие, снижение выбросов оксидов углерода на 24%, углеводородов на 61%, дымового числа на 54%,

– добавление поляризатора масла позволило дополнительно очистить двигатель от отложений, оставив их в масляном фильтре, еще значительно улучшить состояние двигателя, благодаря чему экономия топлива с 6 по 25 неделю составила 11%, и промывка масляной системы не повлияла на образованное покрытие, снижение выбросов оксидов углерода на 31%, углеводородов на 72%, дымового числа на 62%,

Предложенная многоэтапная технологии без разборного ремонта позволяет добиться сокращения расхода ГСМ до 20% для транспорта в удовлетворительном состоянии, сокращения количества и продолжительности ремонтных работ, увеличения ресурса (безремонтного пробега) в 2 и более раз, снижения вибрации и шума в 2-3 раза, улучшения экологической и санитарной обстановки: снижения содержания СО, СН, NO в выхлопных газах.

Технический уровень и перспективность: не имеет аналогов в мире, технология относится к наиболее перспективному направлению развития данного вида технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Белый И.Ф., Меркулов А.Ф., Белый В.И., Голубев И.Г. Эффективное использование антифрикционных добавок к трансмиссионным и моторным маслам. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2011. – 52 с.

2. Васильков Д.В., Пустовой И.Ф., Пустовой Н.И. Анализ поверхностного слоя, формируемого минеральными модификаторами поверхности трения // Труды ГОСНИТИ. – 2011. – Т. 107. – Ч. 2. – С. 11–13.

3. Дунаев А.В., Шарифуллин С.Н. Модернизация изношенной техники с применением трибопрепаратов. – Казань: Казанский университет, 2013. – 272 с.

4. Лазарев С.Ю. О концептуальных вопросах исследований в области трибологии природных минеральных материалов // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124. – Ч. 2. – С. 47–52.

5. Воронин С.В., Дунаев А.В. Влияние электрического и магнитного поля на механизм действия присадок к маслам // Трение и износ. – 2015. – Т. 36. – № 1. – С. 41–49.

УДК 630*

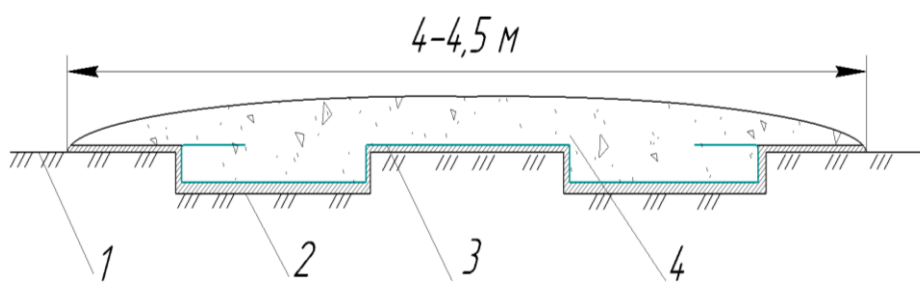
М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук.;
 А.А. Борозна, доц., канд. техн. наук (СПбГЛТУ, г. Санкт-Петербург);
 Н.И. Жарков, ст. науч. сотр., канд. техн. наук;
 П.Н. Жлобич, магистрант (БГТУ, г. Минск)

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ И ТЕХНОЛОГИЙ УСТРОЙСТВА ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ К ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫМ МАГИСТРАЛЯМ

Для повышения работоспособности и снижения материалоемкости из геосинтетических материалов, которые, в зависимости от назначения, позволяют уменьшить объем земляных работ, снизить расход или полностью исключить применение древесины, повысить прочность и долговечность конструкций, увеличить темпы дорожного строительства и межремонтные сроки. Как правило, такие конструкции имеют вид поперечного сечения 2-х типов. Один из них – колеяный, а другой имеет корытообразную форму по всей ширине дорожного полотна.

Разработанные конструктивно-технологические решения для подъездных путей колеяного типа с геопрослойкой (рис. 1) отличается от традиционных несколько другим подходом к способу его устройства.

В зависимости от размеров колеи (ширины и глубины), а также ширины геопрослойки конструкция дорожной одежды может быть устроена посредством размещения геоматериала над всей колеей или ее частью (рисунок 1), что повысит несущую способность подъездного пути.

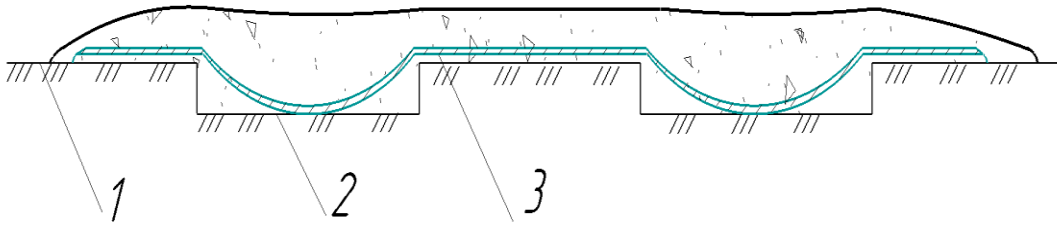


1 – основание; 2 – колея; 3 – геопрослойка; 4 – песчаный слой

Рисунок 1 – Конструкция с укладкой части прослойки над колеями

В частности, после раскатки геосинтетического (геотекстильного) материала поверх дорожного полотна, отсыпки и распределения по нему небольшого слоя (0,25-0,3 м) привозного грунта (рисунок 2), осуществляют проезд по колеям транспортных средств (автосамосвала либо авто-

погрузчика) с целью предварительного натяжения прослойки и распределения ее по контуру колеи.



1 – основание; 2 – колея; 3 – геопрослойка; 4 – песчаный слой

Рисунок 2 – Конструкция с прослойкой без предварительного натяжения

Для устройства подъездных лесотранспортных путей колеяного типа разработана обобщенная технологическая карта (рисунок 3).

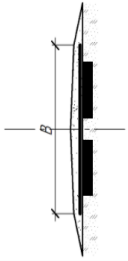
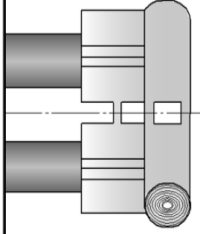
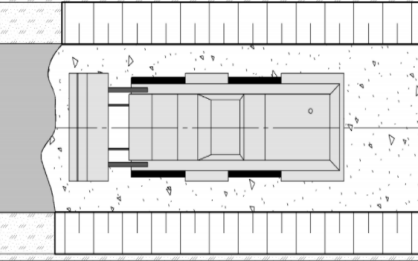
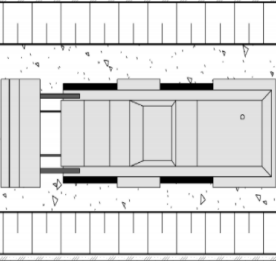
Длина рабочей захватки	Определяется расчетом	Определяется расчетом	Определяется расчетом
Номер операции	1	2	3
Описание технологических операций	Раскатка геосинтетического материала	Подвозка песка, его отсыпка и профилирование покрытия	Уплотнение дорожного покрытия
Машины и механизмы, необходимые для выполнения операций	—	Фронтальный погрузчик	Фронтальный погрузчик
			

Рисунок 3 – Технологическая схема устройства покрытия колеяного типа

Технологический процесс проведения работ в случае устройства подъездов с колеяным поперечным сечением включает выполнение следующих основных операций:

- доставка и раскатка геоматериала по длине подъездного пути;
- подвозка, отсыпка и разравнивание грунта по поверхности прослойки;
- предварительное уплотнение (по необходимости) грунта в колеях автопогрузчиком либо автосамосвалом с целью придания прослойке предварительного натяжения или окончательная укатка слоя покрытия транспортными средствами, используемыми при выполнении дорожно-строительных работ.

УДК 630*

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук.;
Н.И. Жарков, ст. научн. сотр. канд. техн. наук.;
П.Н. Жлобич, магистрант (БГТУ, г. Минск)

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ АПРОБАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ НА ОПЫТНОМ УЧАСТКЕ В ОСИПОВИЧСКОМ ОПЫТНОМ ЛЕСХОЗЕ

Для апробации в условиях производства был построен ряд объектов на опытном участке в ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз». Первоначально на опытном участке: на запланированных для внедрения объектах 1 (рисунок 1) и 2 (рисунок 2) выполнялись работы по формированию корытообразного профиля поперечного сечения (рисунки 3 и 4). На третьем объекте опытного участка (рисунок 5) подготовительные работы не производились.



Рисунок 1 – Вид первого объекта опытного участка до начала работ



Рисунок 2 – Вид второго объекта опытного участка до начала работ



Рисунок 4 – Формирование корытообразного профиля на объекте 1



Рисунок 5 – Формирование корытообразного профиля на объекте 2



Рисунок 6 – Вид третьего объекта опытного участка

УДК 630*

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук.;
 П.Н. Жлобич, магистрант;
 А.Н. Четырбок, магистрант (БГТУ, г. Минск)

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОСНОВАНИЙ ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ С УПРОЧНЯЮЩИМИ ПРОСЛОЙКАМИ

Для того, чтобы выработать направления по совершенствованию подъездных дорог была проведена оценка их состояния (рисунки 1 и 2), что позволило сделать вывод о низкой несущей способности данного вида транспортных путей используемых для вывозки древесины при освоении лесного фонда.

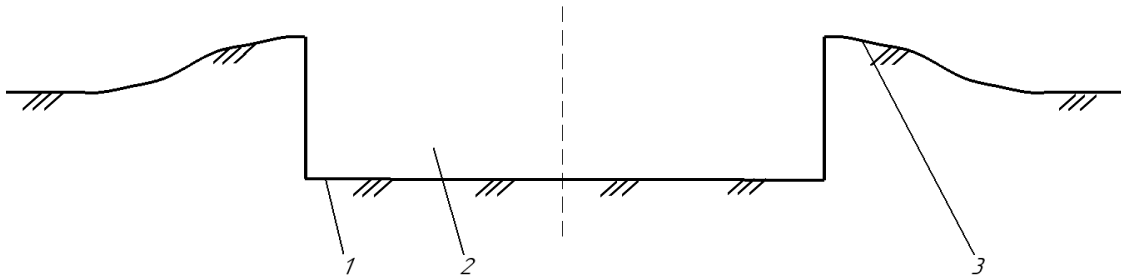


Рисунок 1 – Общий вид подъездных путей – кварталные просеки



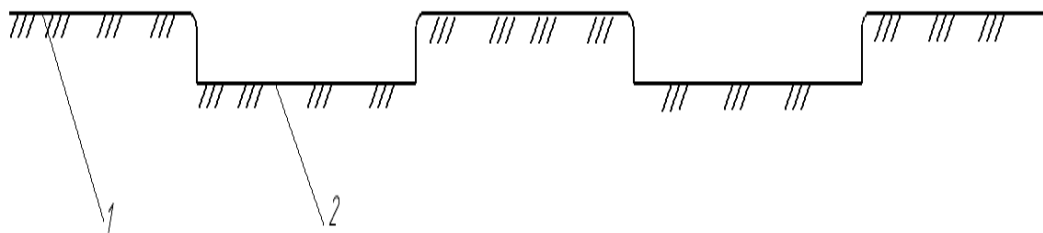
Рисунок 2 – Общий вид подъездных путей – лесные дороги

Вместе с тем, многолетний опыт устройства и производственной эксплуатации подъездов к магистральным дорогам в процессе воздействия колесной нагрузки свидетельствует о том, что они имеют либо корытообразный, формирующийся по всей ширине с образованием буртиков (рисунок 3), либо колеяный (рисунок 4) поперечный профиль дорожного полотна.



1 – грунт основания; 2 – корытообразный профиль дорожной одежды;
3 – ограничительные буртики

Рисунок 3 – Конструкция основания корытообразного типа с буртиками



1 – грунт основания; 2 – колея

Рисунок 4 – Конструкция основания колейного типа

УДК 630*

А.Н. Четырбок, магистрант (БГТУ, г. Минск)

ТЕНДЕНЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СТЕКЛОТКАНЕЙ ПРИ УСТРОЙСТВЕ И СОДЕРЖАНИИ ЛЕСОТРАНСПОРТНЫХ ПУТЕЙ

На современном этапе ведения лесного хозяйства, наряду с необходимостью ухода за лесными насаждениями и охраной гос. лес фонда от пожара и вредителей, необходимо уделять особое внимание устройству и содержанию лесотранспортных путей. Передовым опытом для данного мероприятия является применение различных прослоек из современных композитных материалов, в частности использование стеклоткани, которая имеет следующие преимущества:

Механическая прочность. Стеклоткань имеет большее удельное сопротивление (предел прочности / объемная масса) чем таковое у стали. Эта характеристика - отправная точка для развития стеклоткани, позволяющая производить композит с высокими эксплуатационными качествами.

Стабильность размеров. Стеклоткань, благодаря низкому коэффициенту линейного расширения нечувствительна к изменениям температуры и гидрометрии.

Стеклоткань не гниет. Стеклоткань не ухудшается со временем и не гниет. Она не подвержена воздействию насекомых и грызунов. При устройстве и содержании лесных дорог лесопользователь испытывает трудность, связанную с постоянным воздействием крупнотоннажной высокопроходимой лесозаготовительной техники на лесотранспортные пути. Это выражается в виде разрушения дорожного полотна. Основные разрушения можно объединить в несколько групп:

Колейность – образование глубокой колеи от использования колесной техники. (рисунок 1).



Рисунок 1 – Колейность

Сплошное разрушение – разрушение дорожного настила по всей ширине дорожного покрытия. (рисунок 2).



Рисунок 2 – Сплошное разрушение

Продавливание грунта – продавливание дорожного настила ниже уровня поверхности земли с образованием корытообразных форм дорожного покрытия (рисунок 3).



Рисунок 3 – Продавливание грунта

Для преждевременного разрушения поверхности дороги на современном этапе применяют следующие способы:

1. отсыпка песчаного грунта поверх дорожного полотна с последующим его уплотнением специальными машинами и приспособлениями.

Данный способ имеет ряд преимуществ и недостатков. К преимуществам можно отнести невысокую стоимость и простоту выполнения работ. К недостаткам- продавливание колеи в процессе эксплуатации, т.к. при использовании весной или осенью уплотнение подсыпанного грунта происходит неравномерно.

2. хворостяная высыпка из порубочных остатков с последующим уплотнением и насыпкой грунта.

Положительный эффект от такого способа использования в уплотнении порубочных остатков при укладке, которые служат дополнительной опорой для колеса и не дают грунту (как вновь привезенному так и имеющемуся на дороге) перемешаться. Отрицательный эффект - неравномерное уплотнение грунта на дорожном покрытии,

недолговечность использование дорожного полотна связанное с гниением порубочных остатков.

Исходя из недостатков вышеперечисленных способов, решение данной проблемы - усиление использования целых конструкций дорожного покрытия, а именно снижение процесса перемешивания грунта; укладка слоя порубочных остатков, который является своеобразной подушкой, что приведет к распределению нагрузки на более широкую площадь от колес лесозаготовительной техники.

Но наиболее простой способ при решении данной задачи – применение геосинтетических материалов (рисунок 4).

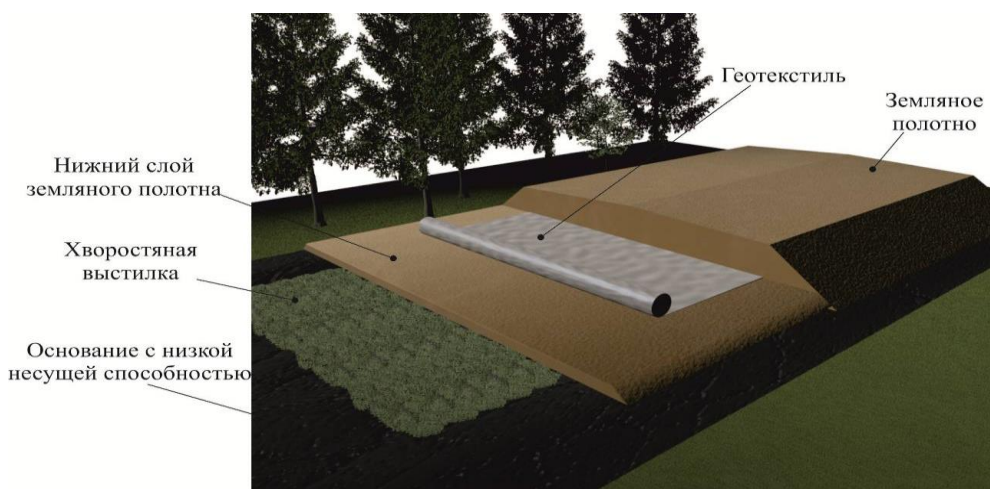


Рисунок 4 – Конструкции с использованием геосинтетического материала

В виду того, что производство геосинтетических материалов в нашей стране имеет локальный характер, доставка значительно увеличивает смету на ремонт дороги. Целесообразно провести исследования возможности использования для этих целей материала выпускаемого заводом ОАО «Полоцк - Стекловолокно». При изучении выпускаемой продукции данного завода наиболее подходящей является сетка стеклянная марки ССШ, а так же рулонный стеклопластик РСТ.

Сетка стеклянная ССШ - предназначена для защиты оштукатуриваемой поверхности от образования трещин, повышения механической прочности покрытия, предохранения стен от деформации (таблица 1). Может применяться в создании наливных полов, гидроизоляции, монтажа звуко и теплоизоляционных материалов, при возведении заграждений для птиц и животных, защиты фасадов зданий и сооружений. Кроме того, штукатурная сетка, которая изготовлена на основе специальной ткани востребована при проведении теплоизоляции труб.

Таблица 1 – Характеристика материала сетки стеклянны

Марки сетки	Масса на единицу площади, г/м ²	Количество нитей на 10 см, шт.		Разрывная нагрузка, не менее		Массовая доля веществ, удаляемых при прокаливания, %	Размер ячейки по основе и утку, мм	Ширина, см
		основа	уток	основа	уток			
ССШ-160 класс А	160+10-15	50	21+1,5	2000Н /5,0см	2000Н /5,0см	не менее 18	4,0*4,5	25,100 (+1-0,5)%
ССШ-160	160+10-15	50	21+1,5	2000Н /5,0см	1800Н /5,0см	не менее 11	4,0*4,5	25,100 (+1-0,5)%

Стеклопластик рулонный РСТ - композитный материал, состоящий из стеклянного наполнителя и синтетического полимерного связующего. Наполнителем служат в основном стеклянные волокна в виде нитей, жгутов (ровингов), тканей, матов, рубленых волокон, а связующим в основном полиэфирные, винилэфирные и эпоксидные смолы (таблица 2).

Таблица 2 – Характеристика материала стеклопластик рулонный

Марка стеклопластика	Масса 1м ² , г	Вид полимерного связующего	Ширина полотна	Длина рулона	Область применения
Стеклопластик 250Л	250+20% -15%	не менее 20%	(1000, 1070, 1100, 1200, 1270)	200	изоляция трубопроводов внутри здания
Стеклопластик 420Х				100	изоляция трубопроводов вне здания

В качестве объекта исследования выбран участок дороги на территории филиала БГТУ «Полоцкий государственный лесной колледж» Полоцкий учебно-опытный лесхоз, где первоначально будет проведен анализ природно-климатических и почвенно-грунтовых условий местности. Далее, согласно анализа будут определены преобладающие типы грунтов, выявлен массив труднодоступного лесного фонда с учетом переувлажненности почвы.

После выполнения анализа будет проведена апробация стеклотканей изготовленных на заводе ОАО «Полоцк - Стекловолокно» путем экспериментальной закладки опытного участка дороги.

Таким образом, в ходе проведения исследования будет дана оценка эффективности использования различных стеклотканей при ремонте и устройстве лесных дорог. Целесообразность использования с экономической и экологической точки зрения, а также испытание отремонтированного дорожного полотна с применением стеклотканей на продавливание лесозаготовительной техникой в различных гидрологических условиях наиболее подверженных водной эрозией.

УДК 630*

П.Н. Жлобич, магистрант (БГТУ, г. Минск)

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРНОЙ СХЕМЫ БАНКА ДАННЫХ ЛЕСНЫХ ДОРОГ

Банк данных – организованная определенным образом, упорядоченная, сосредоточенная совокупность баз данных, а также программные, языковые и другие средства, свод информации, приспособленной для использования многими потребителями, позволяющая определенной группе пользователей хранить и извлекать полезную информацию по заданным критериям и определенной тематике. Доступ к банку данных может осуществляться через компьютерную сеть, видеотеку или по почте. Банки данных создаются и используются с применением электронно-вычислительной техники и автоматизированных средств хранения и передачи информации. *Источник: Экономика и право: словарь-справочник.*

Банк данных – автоматизированная информационная система централизованного хранения и коллективного использования данных. В состав банка данных входят одна или несколько баз данных, справочник баз данных, система управления базами данных, а также библиотеки запросов и прикладных программ.

При всем многообразии определений понятия БД всегда предполагается, что БД отвечает следующим признакам:

1. БД содержит некоторое множество данных необходимых и, по возможности, достаточных, для решения конкретных задач многих пользователей;

2. Данные или информационные элементы в БД определенным образом структурированы и связаны между собой (т.е. организованы), при этом структура, состав данных и их содержание в БД не зависят от особенностей прикладных программ, используемых для управления БД;

3. Данные (информационные элементы) представлены на машиночитаемых носителях в форме пригодной для оперативного использования их с применением средств вычислительной техники и систем управления базами данных (СУБД).

Широкое применение банки данных в области автомобильных дорог получили в Российской Федерации. Автоматизированные банки дорожных данных являются важнейшим элементом системы управления состоянием автомобильных дорог. Они представляют собой автоматизированные информационно-аналитические системы, содержащие периодически обновляемую информацию об автомобильных до-

рогах, искусственных сооружениях, движении автотранспортных средств, ДТП, объектах сервиса и др.

Типовая структура во многом определяет «скелет» и фундаментальные основы любого банка данных, более детальная формализация которого, во многом зависит от предметной области.

Структурная схема типового банка данных позволяет иметь реальную информацию о месторасположении, размерных параметрах, эксплуатационном состоянии лесных дорог, главным образом подъездных лесотранспортных путей.

Структурная схема банка данных:

- 1) Титульный лист банк лесных дорог
- 2) ГЛХУ "_____ лесхоз", карта-схема, условные обозначения, таблица и общая характеристика дорог
- 3) Перечень лесничеств лесхоза 1, 2, 3 ... n
- 4) Нумерация лесных массивов в лесничестве 1а, 1б, ..., 1m; 2а, 2б, ..., 2m; 3а, 3б, ..., 3m, и их карты-схемы
- 5) Карта-схема лесного массива 1а. Таблица лесных дорог с их нумерацией: 1а1, 1а2, 1а3, ..., 1аз
- 6) Лесная дорога 1а1. Схема места прохождения (по ГИС). Характеристика параметров. План трассы. Продольный профиль трассы дороги. Лесная дорога 1а1. Эксплуатационное состояние участков дороги. Прочностные характеристики.

Практическая значимость создания банка данных заключается в том, что разработанные методы, модели и алгоритмы позволяют:

- определить оптимальное проектное решение с гармоническим сочетанием транспортно-эксплуатационных, экономических и экологических показателей;
- заложить требуемый уровень надёжности лесовозных автомобильных дорог;
- провести экспресс-контроль состояния участков лесовозных автомобильных дорог автопоездов в периоды весенней и осенней распутиц, а также выявить участки с ослабленным основанием;
- обеспечить удовлетворительное состояние проезжей части лесовозных автомобильных дорог;

Структурная схема банка данных приведена на рисунке 1.

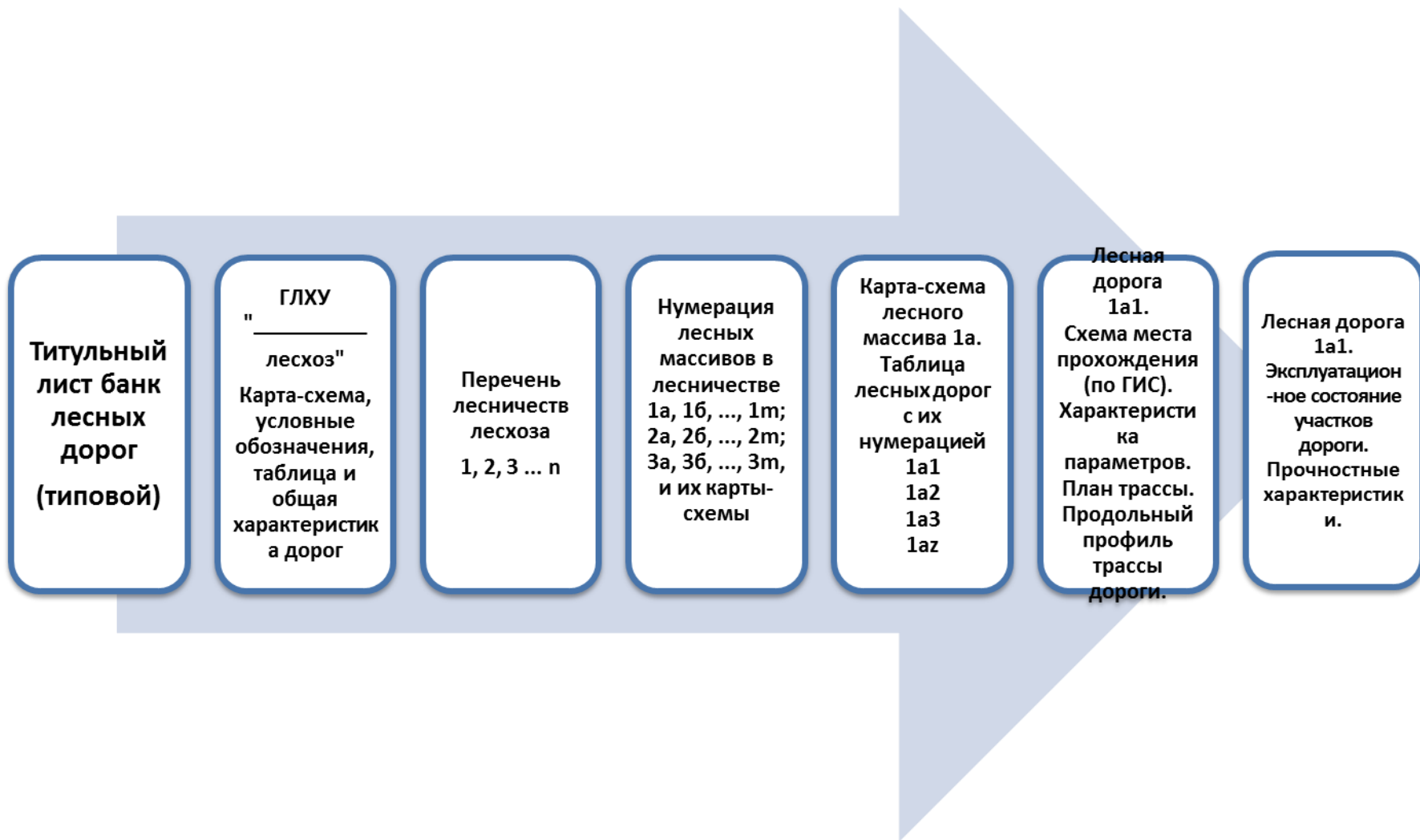


Рисунок 1 – Структурная схема банка данных

УДК 630

М.Т. Насковец доц., канд. техн. наук;
Е.В. Россоха доц., канд. эконом. наук (БГТУ, г. Минск);
Э.В. Синица, специалист по маркетингу;
Н.В. Хорошун м.т.н, м.э.н., маркетинг – директор
(СП ЗАО «МАЗ-МАН»)

ПЕРСПЕКТИВНАЯ СИСТЕМА МАШИН ДЛЯ ВЫВОЗКИ И ТРАНСПОРТИРОВКИ ЗАГОТОВЛЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Леса и лесные ресурсы имеют большое значение для устойчивого социально-экономического развития Республики Беларусь, обеспечения ее экономической, энергетической, экологической и продовольственной безопасности. Леса и лесные ресурсы Республики Беларусь являются значимым природным богатством и возобновляемым сырьевым ресурсом. Они занимают уже более 40% территории страны. По ряду ключевых показателей, характеризующих лесной фонд (лесистость территории, площадь лесов и запас растущей древесины в пересчете на одного жителя), Республика Беларусь входит в первую десятку лесных государств Европы. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь в настоящее время отмечает, что лесной фонд республики составляет более 9 млн. га, средний запас древесины на 1 га покрытых лесом земель около 200 куб.м. Ежегодно в лесах Республики Беларусь прирастает свыше 30,0 млн. куб. м древесины, за 2021 год было заготовлено более 26,0 млн. куб. м древесины.

При классической технологии заготовки древесины с применением многооперационных лесозаготовительных машин (харвестеров и форвардеров) на практике лесозаготовительный комплекс состоит из одной единицы каждой техники. Естественным образом заготовительный процесс выстраивается таким образом, чтобы после определенного времени (3–7 рабочих дней) работы харвестера на лесосеку заезжает форвардер и осуществляет вывозку заготовленной древесины с лесосеки на промежуточный лесопромышленный склад. В данном случае мы имеем дополнительный временной разрыв от операции валки древесины до ее поступления на промежуточный лесопромышленный склад. Точно такая же ситуация складывается с переработкой порубочных остатков в древесную щепу. Особо следует подчеркнуть, что дополнительный временной разрыв и нахождение на лесосеке заготовленной древесины и порубочных остатков приводит к их загрязнению и потере качества.

Вместе с тем, наращивая выпуск лесных машин для вывозки и транспортировки древесного сырья, следует повышать качественные показатели их работы. То есть необходимо улучшать эксплуатацион-

ную надежность такой техники, а также предъявлять повышенные требования к проходимости при движении по лесным дорогам с грунтовыми покрытиями и обеспечению перевозки древесины с учетом действующих норм на распределение нагрузок на оси подвижного состава и его полной массы.

В этой связи правительством республики поставлены задачи, направленные на повышение эффективности и устойчивости лесов, улучшение качества лесохозяйственных мероприятий, полное обеспечение потребностей народного хозяйства в древесном сырье на основе его комплексного использования. С этой целью отечественными машиностроителями решаются проблемы технического переоснащения лесного комплекса современными машинами и механизмами.

Одним из направлений решения поставленной Правительством задачи отечественными машиностроителями видится через совершенствование организации процесса вывозки древесины и порубочных остатков с лесосеки посредством организации верхнего склада.

Суть совершенствования организации процесса вывозки состоит в том, что на **1 этапе** после прохода харвестером сначала происходит вывозка форвардером и(или) машиной погрузочно-транспортной сортирента и порубочных остатков на верхний склад, организованный за краем лесосеки, где одновременно осуществляется и подсортировка сортирента (рисунок 1).

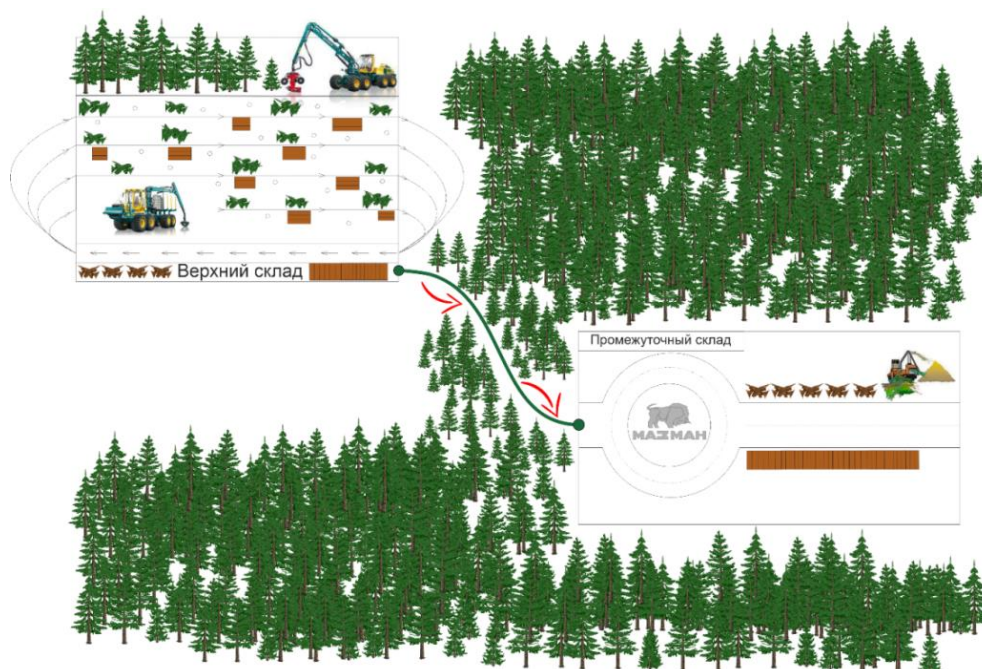


Рисунок 1 – Организация вывозки форвардером и(или) машиной погрузочно-транспортной сортирента и порубочных остатков с лесосеки на верхний склад

На **2 этапе** вывозку сортимента и порубочных остатков с верхнего склада на промежуточный лесопромышленный склад предлагается производить автомобильным транспортом (“автомобильным форвардером” МАЗМАН 747559) с колесной формулой 8x8 и погрузочной площадкой от 7,0 м, где возможно погрузить 2 пачки длиной 4 м, и в зависимости от диаметра, с геометрическим объемом в диапазоне 35,0 - 45,0 куб. м. (рисунок 2).

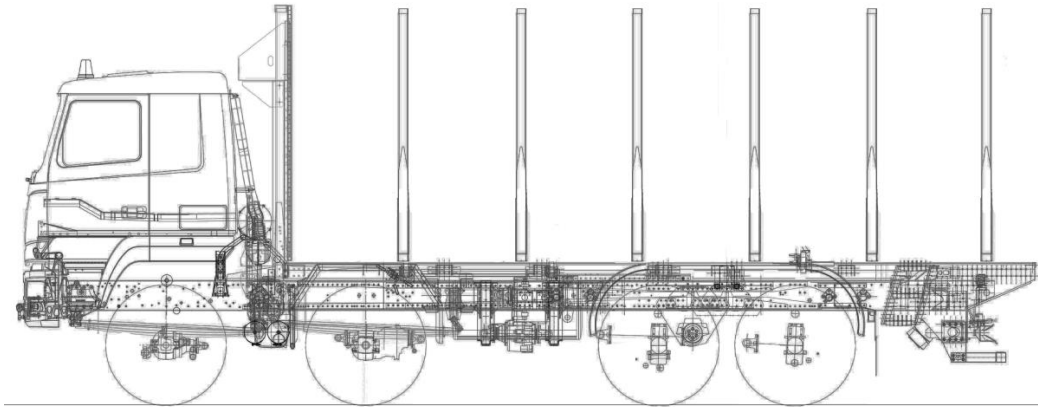


Рисунок 2 – Автомобиль МАЗМАН 747559 с колесной формулой 8x8 для вывозки древесного сырья с верхнего склада на промежуточный лесопромышленный склад

Организационно экономическая составляющая предлагаемого подхода складывается из двух составляющих:

1. Исключение временного разрыва от операции валки древесины до ее поступления на промежуточный лесопромышленный склад.
2. Существенное снижение себестоимости вывозки сортимента из-за увеличения в 3 раза объема вывозки за один рейс в сравнении с форвардером и уменьшении амортизационных отчислений из-за уменьшения стоимости автомобильного транспорта (“автомобильного форвардера” МАЗМАН 747559) с колесной формулой 8x8.

В настоящее время на СП ЗАО «МАЗ-МАН» разработали систему машин для производства и транспортировки древесной щепы. В данную систему машин входят мобильные рубильные комплексы на базе шасси «МАЗ-МАН» 636559 и автопоезда – щеповозы «МАЗ-МАН». Отличительными особенностями мобильного рубильного комплекса на базе шасси «МАЗ-МАН» 636559 с колесной формулой 6x6 являются примененные современные наукоемкие технологии концернов «MAN», «JENZ» и «PALFINGER». В частности, управление комплексом осуществляется из кабины автомобиля, устанавливается рубильный блок «HEM 561» (с многовариантностью производ-

ства щепы) и краново-манипуляторная установка «PALFINGER EPSILON» M100LD97 (рисунок 3).



**Рисунок 3 – Рубильный комплекс МАЗ-МАН 636559
и автопоезд-щеповоз «МАЗ-МАН»**

При производстве автопоезда-щеповоза, состоящего из самосвального автомобиля «МАЗ-МАН» 652559 и прицепа-самосвала «МАЗ-МАН» 850002 применяются высокотехнологичные кузова, изготовленные из высокопрочных сплавов различных металлов, что позволяет существенно снизить собственную массу автопоезда и увеличить объем перевозимой щепы до 100 куб.м за один рейс (рисунок 3).

Таким образом, можно сказать, что отечественными машиностроителями, в частности, ведется планомерная работа по техническому перевооружению лесозаготовительных предприятий и организаций. Замена существующей техники даст возможность в ближайшее время обеспечить потребности лесного комплекса в специальном, тяговом и прицепном составе, в том числе на пневмоходу, что позволит вывезти и транспортировать возрастающие объемы заготавливаемой древесины в процессе транспортного освоения лесов.

Никто, кроме нас самих, не приблизит будущее. Оценив состояние лесов через десятилетия, будущие поколения сделают выводы о правильности принятых управленческих решений в области построения систем машин для вывозки и транспортировки заготовленной древесины.

УДК 630*363

В.Н. Лой, доц., канд. техн. наук;
А.О. Германович, канд. техн. наук;
В.В. Чернявский, студ. (БГТУ, г. Минск)

СОСТАВЛЯЮЩИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ЦИКЛА РАБОТЫ МОБИЛЬНОЙ РУБИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Производство продуктов из древесины образует комплекс разнообразных сложных технологических процессов, тесно взаимосвязанных между собой. Комплекс производства в зависимости от назначения, вида потребляемого сырья и степени переработки его в готовую продукцию можно разделить условно на две составляющие. В первую составляющую входят все производства, связанные главным образом с добычей сырья, его транспортировкой и подготовкой к переработке зачастую с выработкой полуфабрикатов или готовую продукцию в небольшом объеме. Во вторую составляющую входят производства, основная цель которых переработка сырья и материалов, полученных от первой составляющей производств и выработка окончательной готовой продукции или полуфабрикатов, изготовленных в результате глубокой переработки первичного сырья [1]. Как и в первой, так и во второй составляющей лесопромышленного комплекса неизбежно образуются отходы.

На сегодняшний день рубильная машина, служащая для получения экологически чистого и возобновляемого вида топлива является актуальной. Из перечня технических средств, используемых в цепочке производства топливной щепы, рубильная машина является наиболее энергоемкой, сложной и дорогостоящей [2]. Существует большое разнообразие конструктивных схем рубильных машин. Наиболее универсальной (имеет возможность работать как непосредственно на лесосеке, так и на лесном складе) является самоходная рубильная машина, обладающая рядом преимуществ.

Работа мобильной рубильной машины состоит из повторяющегося цикла, который включает две наиболее затратные временные составляющие (рисунок 1) [3]. Первая составляющая представляет собой непосредственно сам процесс измельчения древесного сырья в щепу, а вторая – транспортная (переезды от одного места концентрации сырья к другому). Переезд от места к месту концентрации древесного сырья может осуществляться двумя способами. Первый – (самостоятельно) непосредственно самой машиной, второй - при помощи автотягача.

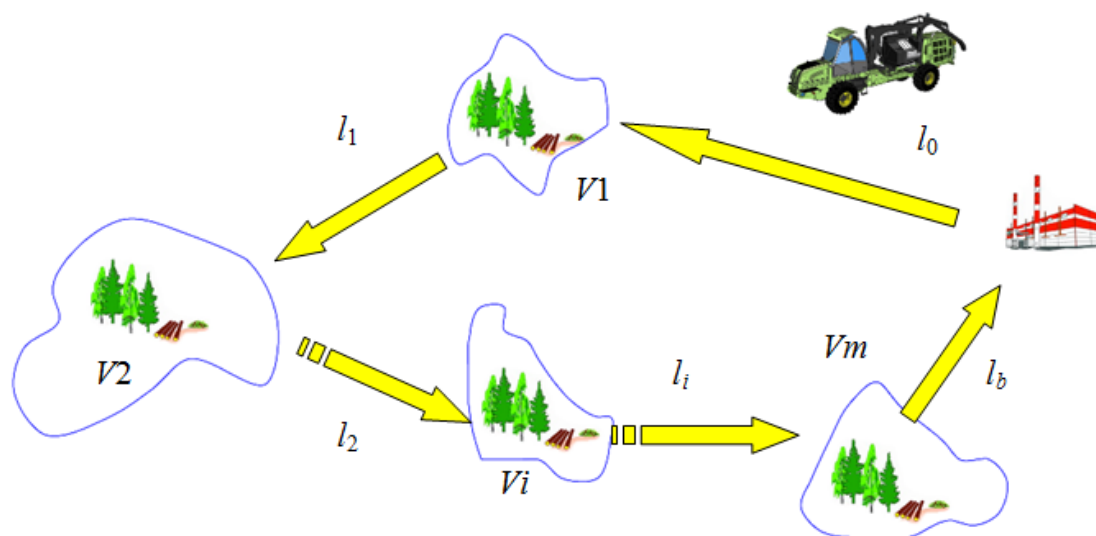


Рисунок 1 – Схема движения мобильной рубильной машины по местам концентрации древесного сырья

Эффективность работы мобильной рубильной машины прямым образом зависит от количества измельченной древесины, т.е. от производительности. Производительность рубильных машин довольно высокая, если они работают в стационарном режиме, так как рубильная установка непрерывного действия. Но на лесосеках эти машины работают, как машины периодического действия из-за частых переездов от одного места концентрации сырья к другому. Поэтому их сменная производительность при измельчении древесного сырья непосредственно на лесосеке будет значительно ниже, чем в стационарном режиме. Также одним из факторов, влияющих на сменную производительность, является сама возможность передвижения к лесосеке, и скорость движения, развиваемая рубильной машиной при перемещении от лесосеки к лесосеке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Германович А. О. Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе многофункционального шасси для производства топливной щепы: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2015. 26 с.
2. Федоренчик, А. С., Энергетическое использование низкокачественной древесины и древесных отходов / А. С. Федоренчик, А. В. Ледницкий. – Минск: БГТУ, 2010. – 446 с.
3. Федоренчик, А. С. Расчет производительности самоходных отечественных рубильных машин / А. С. Федоренчик // Труды БГТУ – 2014. – № 2. Лесная и деревооб. пром-сть. – С. 13-16.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ПРОЦЕССА ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ МОБИЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ УСТАНОВКОЙ В ЗАБОЛОЧЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Введение. Процесс лесозаготовок мобильными канатными трелевочными установками на увлажненных лесосеках Беларуси, сопровождается значительными динамическими процессами, которые ранее не были исследованы в полной мере.

Разработанное математическое описание позволяет учитывать такие особенности заболоченных лесосек как выход уменьшение удерживающей способности якорей, изгибные жесткости опор и т. д.

Основная часть. В качестве базовой машины для исследования была выбрана мобильная канатная трелевочная установка МТК-431 на базе лесной модификации трактора БЕЛАРУС 1221. Объект исследования – процесс трелевки древесины по трелевочному коридору. Рассмотрена работа установки на одном пролете с учетом возможности транспорта сырья в подвесном либо полуподвесном виде. Привод барабанов лебедки гидромеханический.

Суммарная кинетическая энергия системы, Дж:

$$T = T_{\text{дв+мф}} + T_{\text{кп}} + T_{\text{пер}} + T_{\text{бт}} + T_{\text{мач}} + T_{\text{кр+пл+пч}} + T_{\text{д}} + T_{\text{бв}} =$$

$$= \frac{1}{2} \cdot (I_{\text{дв+мф}} \cdot \dot{\varphi}_1^2 + I_{\text{кп}} \cdot \dot{\varphi}_2^2 + I_{\text{пер}} \cdot \dot{\varphi}_3^2 + I_{\text{бт}} \cdot \dot{\varphi}_4^2 + I_{\text{мач}} \cdot \dot{\varphi}_5^2 + m_{\text{п+к}} \cdot \dot{x}^2 + I_{\text{дер}} \cdot \dot{\varphi}_6^2 + I_{\text{бв}} \cdot \dot{\varphi}_7^2), \quad (1)$$

где $T_{\text{дв+мф}}$ – кинетическая энергия вращения двигателя и муфты сцепления; $T_{\text{кп}}$ – кинетическая энергия вращения коробки передач; $T_{\text{пер}}$ – кинетическая энергия вращения открытой передачи; $T_{\text{бт}}$ – кинетическая энергия вращения барабана тягового каната; $T_{\text{мач}}$ – кинетическая энергия поворота металлической мачты канатной установки; $T_{\text{пер}}$ – кинетическая энергия поступательного движения системы каретка-полиспаст-пачка; $T_{\text{д}}$ – кинетическая энергия поворота дерева тыловой опоры; $T_{\text{бв}}$ – кинетическая энергия вращения барабана возвратного каната.

Суммарная энергия системы, Дж:

$$\Pi = \frac{1}{2} \cdot \left(\begin{array}{l} c_{\text{мф}} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2)^2 + c_{\text{нас}} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + c_{\text{пер}} \cdot (\varphi_3 - \varphi_4)^2 + c_{\text{тк}} \cdot \left(\begin{array}{l} \varphi_4 \cdot r_{\text{б.т.}}(t) - \\ - \varphi_5 \cdot h_{\text{б.л.т.}} - s \end{array} \right)^2 + \\ + c_{\text{изг.мач.}} \cdot (\varphi_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}})^2 + c_{\text{р1}} \cdot (\varphi_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + c_{\text{р2}} \cdot (\varphi_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + c_{\text{р3}} \cdot (\varphi_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + \\ + c_{\text{р4}} \cdot (\varphi_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + c_{\text{пн1}} \cdot (\varphi_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + c_{\text{пн2}} \cdot (\varphi_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + c_{\text{пн3}} \cdot (\varphi_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + \\ c_{\text{пн4}} \cdot (\varphi_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + c_{\text{вк}} \cdot (s - \varphi_6 \cdot h_{\text{б.л.в.}} - \varphi_7 \cdot r_{\text{б.в.}}(t)) + c_{\text{изг.д.}} \cdot (\varphi_6 \cdot h_{\text{б.л.в.}}) \end{array} \right), \quad (2)$$

ГДЕ $c_{\text{мф}}$, $c_{\text{нас}}$, $c_{\text{пер}}$, $c_{\text{тк}}$, $c_{\text{изг.м.}}$, $c_{\text{р1}}$, $c_{\text{р2}}$, $c_{\text{р3}}$, $c_{\text{р4}}$, $c_{\text{пн1}}$, $c_{\text{пн2}}$, $c_{\text{пн3}}$, $c_{\text{пн4}}$, $c_{\text{вк}}$, $c_{\text{изг.д.}}$ – жесткости: муфты, насоса, открытой передачи, тягового каната, изгибная мачты, растяжек (1-4), сцепления пня в почве (1-4), возвратного каната; $r_{\text{б.т.}}(t)$, $r_{\text{б.в.}}(t)$, $h_{\text{б.л.т.}}$, $h_{\text{б.л.п.}}$, $h_{\text{б.л.в.}}$ – переменные радиусы намотки барабанов тягового и возвратного канатов (по средней линии верхнего витка), высота расположения блока тягового каната, растяжек, блока возвратного каната.

Диссипативная функция Релея системы:

$$R = \frac{1}{2} \cdot \left(\begin{array}{l} k_{\text{нас}} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3)^2 + k_{\text{пер}} \cdot (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4)^2 + k_{\text{тк}} \cdot (\dot{\varphi}_4 \cdot r_{\text{б.т.}}(t) + \varphi_4 \cdot \dot{r}_{\text{б.т.}}(t) - \dot{\varphi}_5 \cdot h_{\text{б.л.т.}} - \dot{s})^2 + \\ + k_{\text{р1}} \cdot (\dot{\varphi}_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + k_{\text{р2}} \cdot (\dot{\varphi}_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + k_{\text{р3}} \cdot (\dot{\varphi}_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + k_{\text{р4}} \cdot (\dot{\varphi}_5 \cdot h_{\text{б.л.п.}}) + \\ + k_{\text{вк}} \cdot (\dot{s} - \dot{\varphi}_6 \cdot h_{\text{б.л.в.}} - \dot{\varphi}_7 \cdot r_{\text{б.в.}}(t) - \varphi_7 \cdot \dot{r}_{\text{б.в.}}(t)) \end{array} \right), \quad (3)$$

где $k_{\text{нас}}$, $k_{\text{пер}}$, $k_{\text{тк}}$, $k_{\text{р1}}$, $k_{\text{р2}}$, $k_{\text{р3}}$, $k_{\text{р4}}$, $k_{\text{вк}}$ – коэффициенты диссипации насоса, открытой передачи, тягового каната, растяжки (1-4), возвратного каната.

Обобщенные силы:

$$Q_{\varphi_1} = \frac{M_{\text{дв}}(t) \cdot \delta\varphi_1}{\delta\varphi_1} = M_{\text{дв}}(t), \quad (4)$$

где $M_{\text{дв}}(t)$ – крутящий момент двигателя, Н·м; $\delta\varphi_1$ – частная производная по обобщенной координате φ_1 .

$$Q_{\varphi_7} = \frac{M_{\text{сопр}}(t) \cdot \delta\varphi_7}{\delta\varphi_7} = M_{\text{сопр}}(t), \quad (5)$$

где $M_{\text{сопр}}(t)$ – момент сопротивления на валу возвратного каната, Н·м.; $\delta\varphi_7$ – частная производная по обобщенной координате φ_7 .

$$Q_x = \frac{F_{\text{сопр}} \cdot \delta x}{\delta x} = F_{\text{сопр}}, \quad (6)$$

где $F_{\text{сопр}}$ – сила трения скольжения пачки по грунту, Н; δx – частная производная по обобщенной координате x .

Для составления системы дифференциальных уравнений, входящих в состав математической модели, было использовано уравнение Лагранжа второго рода:

$$\frac{\partial}{\partial t} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \frac{\partial T}{\partial q_i} + \frac{\partial \Pi}{\partial q_i} + \frac{\partial R}{\partial \dot{q}_i} = Q_i, \quad (7)$$

где T и $П$ – кинетическая и потенциальная энергии системы соответственно, Дж; R – диссипативная функция Релея, Дж; q_i – обобщенная координата; Q_i – внешние обобщенные силы, Н.

В результате подстановки выражений кинетической, потенциальной энергий и диссипативной функции в уравнение Лагранжа второго рода, была получена система дифференциальных уравнений, которая описывает колебательные процессы при работе мобильной канатной трелевочной установки:

$$\ddot{\varphi}_1 = \frac{(-c_{\text{мф}} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) + M_{\text{дв}}(t))}{I_{\text{дв+м}}},$$

$$\ddot{\varphi}_2 = \frac{(-c_{\text{мф}} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2) - c_{\text{нас}} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) - k_{\text{нас}} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3))}{I_{\text{кп}}},$$

$$\ddot{\varphi}_3 = \frac{(c_{\text{нас}} \cdot (\varphi_2 - \varphi_3) + k_{\text{нас}} \cdot (\dot{\varphi}_2 - \dot{\varphi}_3) - c_{\text{пер}} \cdot (\varphi_3 - \varphi_4) - k_{\text{пер}} \cdot (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4))}{I_{\text{пер}}},$$

$$\ddot{\varphi}_4 = \frac{\left(c_{\text{пер}} \cdot (\varphi_3 - \varphi_4) + k_{\text{нас}} \cdot (\dot{\varphi}_3 - \dot{\varphi}_4) - c_{\text{тк}} \cdot (\varphi_4 \cdot r_{\text{бт}}(t) - \varphi_5 \cdot h_{\text{бл.т}} - x) - \right. \\ \left. - k_{\text{тк}} \cdot \left(\begin{array}{c} \dot{\varphi}_4 \cdot r_{\text{бт}}(t) + \\ + \varphi_4 \cdot \dot{r}_{\text{бт}}(t) - \dot{\varphi}_5 \cdot h_{\text{бл.т}} - \dot{x} \end{array} \right) \right)}{I_{\text{бт}}(t)},$$

$$\ddot{\varphi}_6 = \frac{(c_{\text{вк}} \cdot (x - \varphi_6 \cdot h_{\text{бл.в}} - \varphi_7 \cdot r_{\text{бв}}(t)) + k_{\text{вк}} \cdot (\dot{x} - \dot{\varphi}_6 \cdot h_{\text{бл.в}} - \dot{\varphi}_7 \cdot r_{\text{бв}}(t) - \varphi_7 \cdot \dot{r}_{\text{бв}}(t)) - c_{\text{изг.дер}} \cdot (\varphi_6 \cdot h_{\text{бл.в}}))}{I_{\text{дер}}},$$

$$\ddot{\varphi}_7 = \frac{(c_{\text{вк}} \cdot (x - \varphi_6 \cdot h_{\text{бл.в}} - \varphi_7 \cdot r_{\text{бв}}(t)) + k_{\text{вк}} \cdot (\dot{x} - \dot{\varphi}_6 \cdot h_{\text{бл.в}} - \dot{\varphi}_7 \cdot r_{\text{бв}}(t) - \varphi_7 \cdot \dot{r}_{\text{бв}}(t)) - c_{\text{изг.дер}} \cdot (\varphi_6 \cdot h_{\text{бл.в}}))}{I_{\text{бв}}(t)},$$

$$\ddot{x} = \frac{\left(c_{\text{тк}} \cdot (\varphi_4 \cdot r_{\text{бт}}(t) - \varphi_5 \cdot h_{\text{бл.т}} - x) + k_{\text{тк}} \cdot (\dot{\varphi}_4 \cdot r_{\text{бт}}(t) + \varphi_4 \cdot \dot{r}_{\text{бт}}(t) - \dot{\varphi}_5 \cdot h_{\text{бл.т}} - \dot{x}) - \right. \\ \left. - c_{\text{вк}} \cdot (x - \varphi_6 \cdot h_{\text{бл.в}} - \varphi_7 \cdot r_{\text{бв}}(t)) - k_{\text{вк}} \cdot (\dot{x} - \dot{\varphi}_6 \cdot h_{\text{бл.в}} - \dot{\varphi}_7 \cdot r_{\text{бв}}(t) - \varphi_7 \cdot \dot{r}_{\text{бв}}(t)) - F_{\text{сопр}} \right)}{m(t)}$$

Выводы. Предложенное математическое описание позволяет выполнять проектирование мобильных канатных трелевочных установок, заранее задавая исходными параметрами, оценивать степень нагруженности и характер колебаний существующих установок в зависимости от способа трелевки и массы пачки, учитывать податливость якорей (пней) и тыловой опоры, учитывать особенности привода установки в зависимости от входящих в него элементов.

УДК 630*377.21 (252.6)

А.О. Шошин, ассист. (БГТУ, г. Минск);

В. Штоллманн, доц., канд. техн. наук

(Технический университет в Зволене, Словацкая Республика);

С.В. Ярмолик ст. преп.; А.В. Максимцова, студ. (БГТУ, г. Минск)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МОБИЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ РАБОТЫ В ЗАБОЛОЧЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Введение. В условиях современного лесозаготовительного производства представляется достаточно непростой задачей подобрать вид, марку и тем более конкретную модель мобильной канатной трелевочной установки для разработки заболоченных лесосек. Комплексный отбор, очевидно, должен отражать свойства сравниваемых машин по всем параметрам: стоимость техники и себестоимость заготовки древесины, экологическая нагрузка на лесные экосистемы, производительность, безопасность работы персонала и др. На данный момент не представляется возможным учесть одновременно все факторы. В данной работе было принято решение сконцентрироваться на основных производственных параметрах канатных установок – грузоподъемность и максимальное расстояние трелевки.

Основная часть. Для данного исследования были отобраны серийные мобильные канатные трелевочные установки основных мировых производителей Larix, TST, Koller, Konrad [1-4] и опытная установка МТК-431 производства Минского тракторного завода. Было определено, что из имеющегося богатого ассортимента производимых машин, для условий равнинных заболоченных лесосек Беларуси наиболее эффективными являются установки с неподвижным несущим канатом с базовой машиной в виде трактора (standing skyline). Диаграмма сравнения выборки канатных установок по максимальной производительности на максимальном расстоянии трелевки приведена на рисунке 1. Максимальные расстояния трелевки определены с учетом запаса несущего каната на закрепление на опорных пнях и деревьях (50 м).

Данная диаграмма позволяет сделать только первоначальный вывод о эффективности работы каждой из установок. Можно отметить, что данную диаграмму можно условно разделить на два участка (горизонтальная штриховая линия на рис. 1). Сверху более производительные установки на определенном максимальном расстоянии трелевки, снизу менее производительные.

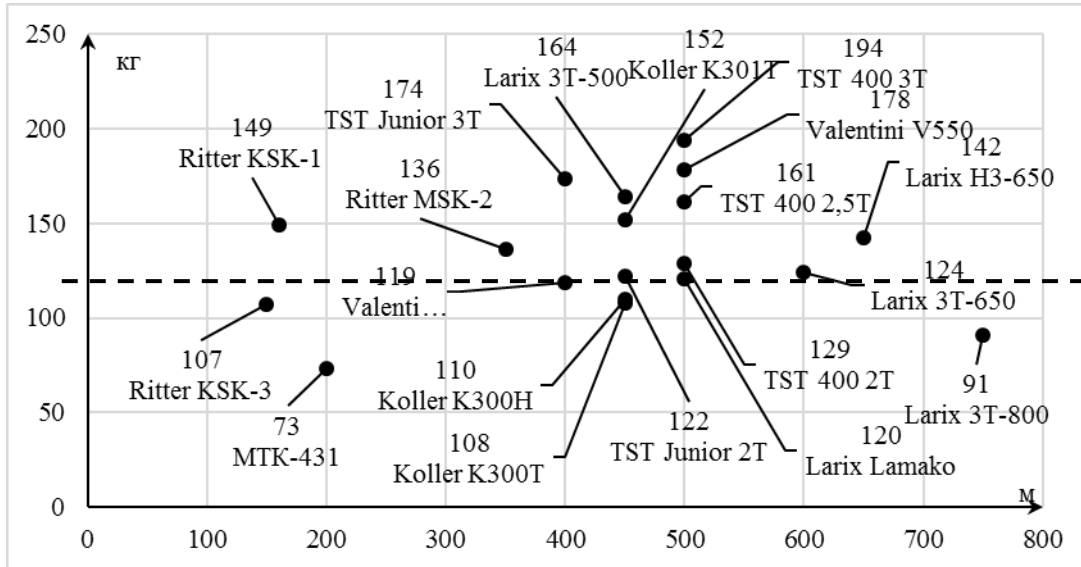


Рисунок 1 – Сравнение канатных установок по производительности труда и максимальному расстоянию трелевки

Для более комплексной оценки предложенных установок был разработан критерий эффективности $K_{эф}$ по использованию грузоподъемности установки:

$$K_{эф} = Q_{max} - Q_{пач} \leq 500 \text{ кг}, \quad (1)$$

где Q_{max} – максимальная грузоподъемность установки, кг; $Q_{пач}$ – масса пачки с учетом средней плотности и количества хлыстов в пачке, кг.

Установки, для которых данный критерий не выполняется, были исключены из исследования полностью или частично – установка может эффективно применяться для одного или нескольких значений объема хлыста при определенном количестве хлыстов в пачке. В соответствии с диаграммой (рисунок 2) в зависимости от среднего объема хлыста и максимального расстояния трелевки может быть подобрана мобильная канатная трелевочная установка для условий конкретного лесосечного фонда.

При исследовании выборки установок по несоответствию критерию эффективности были отброшены все три модификации Valentini V600 (среднее расстояние трелевки 550, 780 и 950 м), Valentini V850. Часть установок не соответствовали критерию эффективности, однако для этих установок величина превышения разницы между грузоподъемностью и массой пачки находилась в промежутке от 500 до 600 кг (на рисунке отмечены «**»). Данные установки были включены в выборку, однако их применение будет менее эффективно для условий Беларуси по сравнению с остальными. Значения критерия из промежутка от 200 до 500 кг характеризуют работу данной установки как «эффективную» (на диаграмме отмечены «*»), значения же из

промежутка от 200 до 0 характеризуют работу как «очень эффективную» (без пометок на диаграмме).

Для построения рисунка 2 использовался параметр «грузоподъемность установки» и плотность древесины на заболоченных лесосеках, зависящая от среднего состава насаждения, который для условий Беларуси имеет формулу 7Олч1С1Ос1Б.: Средняя плотность определялась по формуле:

$$\rho_{\text{cp}} = p_1 \cdot \rho_1 + p_2 \cdot \rho_2 + \dots + p_n \cdot \rho_n, \quad (2)$$

где p_1, p_2, p_n – доля n -ой породы в составе насаждения; ρ_1, ρ_2, ρ_n – плотность древесины n -ой породы.

Средняя плотность древесины принималась по плотности свежесрубленной древесины [5]:

$$\begin{aligned} \rho_{\text{cp}} &= 0,7 \cdot \rho_{\text{ол}} + 0,1 \cdot \rho_{\text{с}} + 0,1 \cdot \rho_{\text{ос}} + 0,1 \cdot \rho_{\text{б}} = \\ &= 0,7 \cdot 810 + 0,1 \cdot 820 + 0,1 \cdot 760 + 0,1 \cdot 870 = 812 \text{ кг/м}^3 \end{aligned}$$

С учетом рисунков 1 и 2 была отобрана ограниченная выборка наиболее эффективных установок и было сделано общее сравнение их по производительности на всем участке их возможного использования по расстоянию трелевки (рисунок 3). Анализ данной диаграммы позволил выделить 3 наиболее эффективных установки на определенных промежутках расстояния трелевки:

- А) 0–500 м – TST 400 3Т;
- Б) 500-650 м – Larix НЗ-650;
- В) 650-800 м – Larix 3Т-800;

Из выборки по рисунку 1 была отобрана меньшая выборка из наиболее эффективных установок: TST 400 3Т, Ritter KSK-1, Ritter MSK-2, Larix НЗ-650, Larix 3Т-500, Larix 3Т-800, TST Junior 3Т.

Выводы. Для разработки равнинных заболоченных лесосек Беларуси было выделено 3 модели мобильных канатных трелевочных установки с неподвижным несущим канатом: TST 400 3Т, Larix НЗ-650, Larix 3Т-800. Выбор из этих трех вариантов должен быть комплексным.

При среднем расстоянии трелевки до 450 м, наиболее производительной является установка TST 400 3Т (рисунок 3). Однако использование данной машины в соответствии с рисунком 2 очень ограничено так как ее эффективное применение возможно только в насаждениях со средним объемом хлыста $0,6 \text{ м}^3$ и количеством хлыстов в пачке равным пяти.

Аналогичная ситуация с установкой Larix НЗ-650 на расстоянии трелевки от 450 до 650 м.

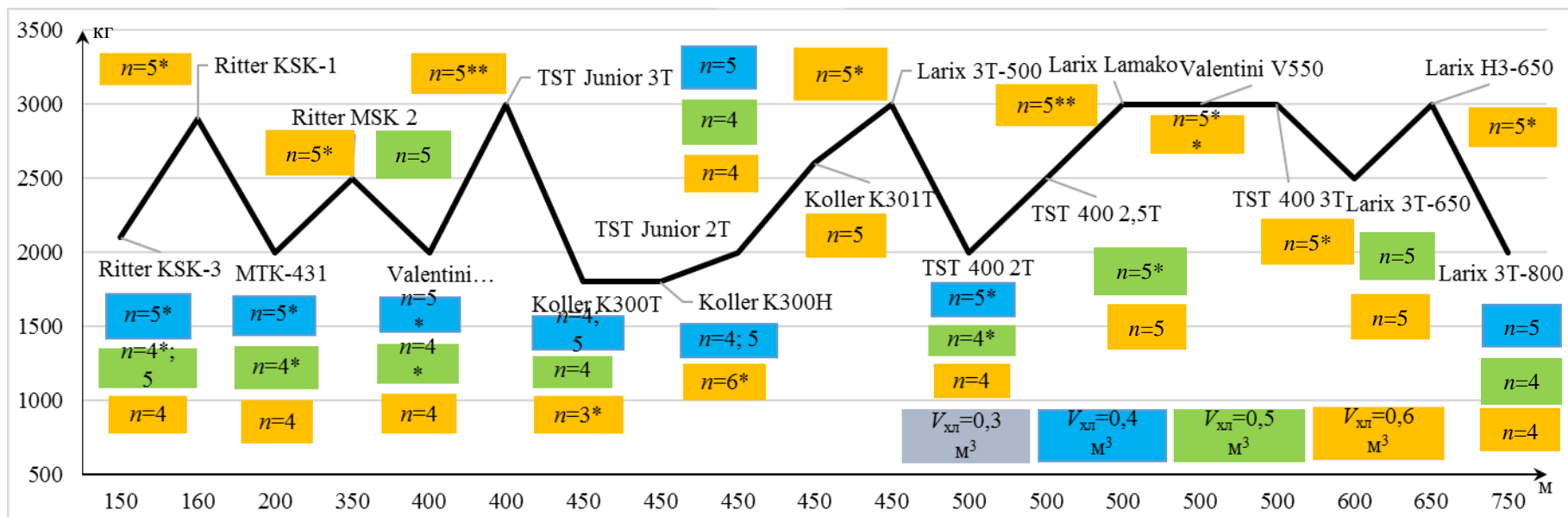


Рисунок 2 – Диаграмма выбора мобильной канатной трелевочной установки в зависимости от максимального расстояния трелевки и грузоподъемности

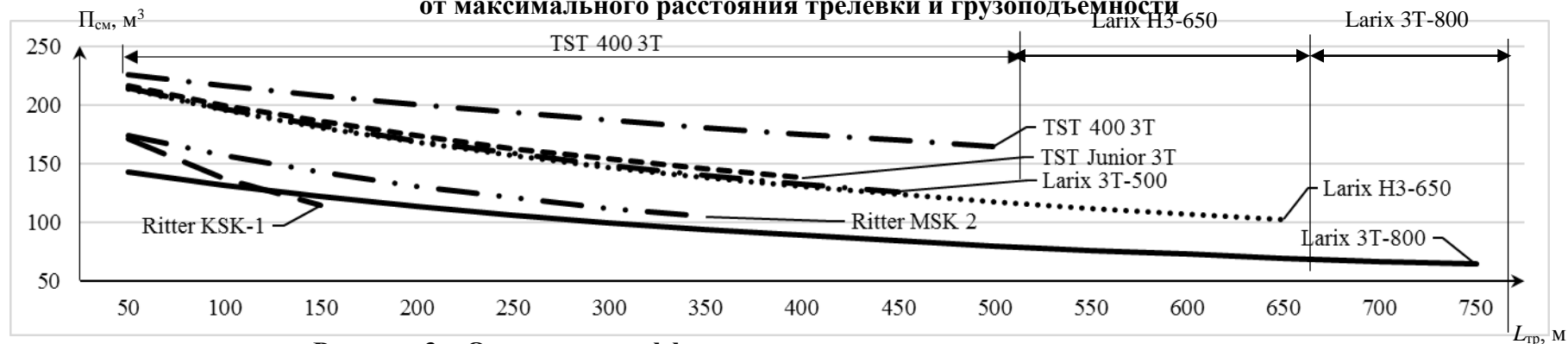


Рисунок 3 – Определение эффективных канатных установок в зависимости от расстояния трелевки и производительности

Наиболее предпочтительным универсальным вариантом для заболоченных лесосек Беларуси является установка Larix 3T-800. С ее помощью можно вести заготовку на максимальном расстоянии в 750 м, которое превышает аналогичный параметр у двух других машин и может быть эффективно применяться при средних объемах хлыста 0,4, 0,5 и 0,6 м³.

ЛИТЕРАТУРА

1. Канатные установки Larix. URL: <https://www.forest-machinery.cz/tag/forest-cableways/> (дата обращения: 14.01.2022).
2. Канатные установки TST. URL: <http://tst-forestry.com/seilkraeneindex> (дата обращения: 14.01.2022).
3. Канатные установки Koller. URL: <https://kollergmbh.com/en/yarder> (дата обращения: 14.01.2022).
4. Канатные установки Konrad. URL: <https://www.forsttechnik.at/products/tower-yarders/kms/km40-2> (дата обращения: 14.01.2022).
5. Плотность свежесрубленной древесины. URL: https://www.pereezd.net.ua/plotnost_dereva.html (дата обращения: 14.01.2022).

УДК 630*527

Ю.И. Мисуно, ассист.; Е.С. Вилюнов, студ.
(БГТУ, г. Минск)

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УЧЕТА ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ В ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ БЕЛАРУСИ

На сегодняшний день трудно представить какую-либо сферу деятельности или промышленную отрасль без информационных технологий. Это же касается и лесного комплекса. Во всем мире, в том числе и в Беларуси, для обеспечения отрасли оперативной информацией о лесном фонде и его использовании активно внедряются новые технологии.

Важным этапом в «цифровизации» отрасли страны стало внедрение системы по учету древесины. Так, на основании Указа Президента Республики Беларусь от 18 февраля 2021 г. №50 «О совершенствовании деятельности по учету древесины» в целях учета, контроля и рационального использования древесины в заготовленном виде в Беларуси создана единая государственная автоматизированная информационная система учета

древесины и сделок с ней – ЕГАИС. Использование данной технологии стало обязательным во всех лесхозах с 20.08.2021 г.

В целом, ЕГАИС предназначена для формирования, обработки, анализа, контроля и хранения информации о подлежащей заготовке, заготовленной, вывезенной, транспортируемой и реализованной древесине.

Цели ЕГАИС:

- снизить бумажный документооборот;
- обеспечить полноту и достоверность данных относительно лесозаготовок, участвующих в обороте;
- повысить точность учета древесной продукции;
- исключить нелегальную заготовку древесины;
- обеспечить дистанционное формирование, получение и анализ информации.

Основные задачи внедрения ЕГАИС в Беларуси включают в себя повышение эффективности использования лесных ресурсов за счет совершенствования системы управления; доступ к информации для принятия управленческих решений.

В соответствии с Указом Президента РБ №50 владельцем ЕГАИС является Министерство лесного хозяйства, оно же определяет оператора ЕГАИС и координирует его работу, а также определяет порядок внесения сведений в ЕГАИС.

Оператором ЕГАИС является РУП «Белгослес». Его функции:

- мониторинг и обеспечение бесперебойного функционирования ЕГАИС;
- управление, техническая эксплуатация, доработка и модернизация ЕГАИС;
- формирование базы данных о всех этапах заготовки, вывозки, транспортировки и реализации древесины;
- обеспечение защиты и сохранности информации, содержащейся в ЕГАИС;
- обеспечение технической и консультационной поддержки пользователей ЕГАИС;
- разработка инструкции, положения и других нормативно-справочных материалов, регламентирующих работу ЕГАИС и т. д.

Оператор ЕГАИС при регистрации участников и пользователей ЕГАИС сначала создает администратора организации и присваивает ему логин и пароль. Для работы пользователей организации в системе необходимо обратиться к зарегистрированному администратору ЕГАИС организации. Администратор ЕГАИС организации как правило является пользо-

ватель с группой ролей «Администратор нижнего уровня» и выполняет функцию создания сотрудников и пользователей своей организации.

Администратору ЕГАИС организации необходимо внести сотрудников в справочник «Сотрудники» путем их создания.

В общем структуру пользователей ЕГАИС можно представить в виде схемы на рисунке 1.

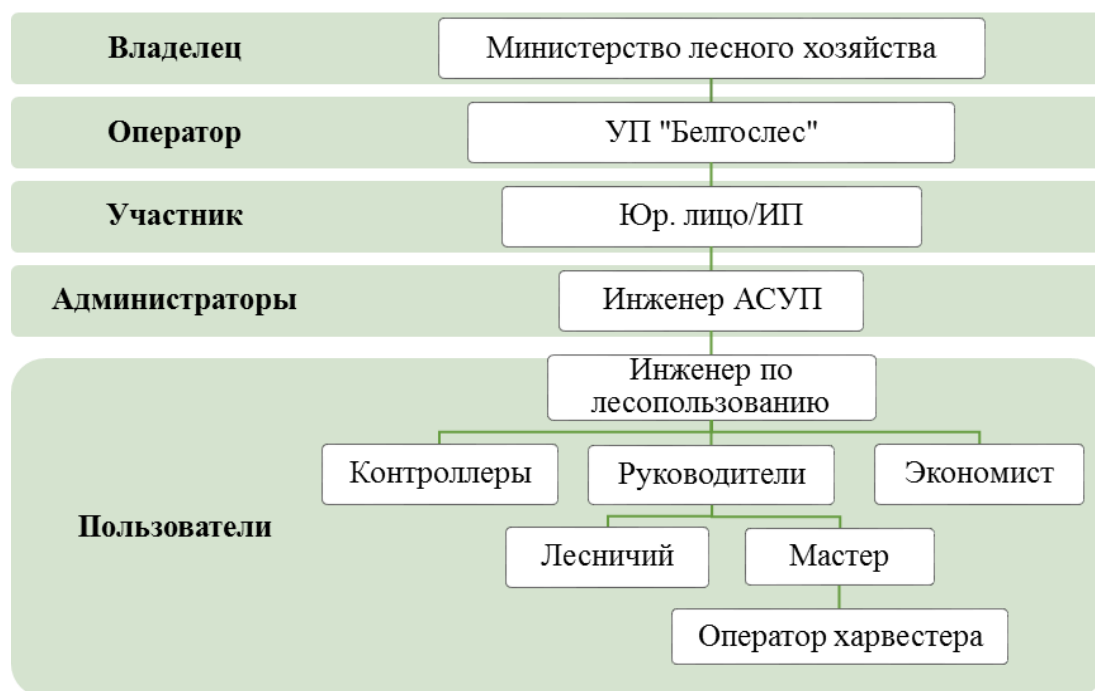


Рисунок 1 – Структура пользователей ЕГАИС

Внедрение ЕГАИС в производственный процесс заготовки и вывозки лесоматериалов обусловило необходимость внесения ряда изменений в порядок выполнения таких работ как учет и отпуск заготовленной древесины на стадии лесосечных работ, а также в процедуру проведения отвода лесосек, приемки лесоматериалов, оформления документации и т.д.

В общем виде, порядок функционирования ЕГАИС приведен на рисунке 2.

После изучения функционирования и применения ЕГАИС на стадиях заготовки и вывозки лесоматериалов на базе лесохозяйственных учреждений, действующей нормативно-правовой документации и руководства по использованию данной системы, предложен ряд рекомендаций по повышению эффективности работы с системой.

Отвод и таксация лесосек

- Внесение информации о лесосеке в ПО в модуль "Лесосека" пользователем уровня 6

Оформление разрешительного документа

- В компьютерном приложении в модуле "Разрешительный документ" пользователь с группой ролей "Инженер по лесопользованию" или "Лесничий" оформляет разрешительный документ

Учет заготовленной древесины

- Пользователь с группой ролей "Мастер" вносит данные о заготовленной древесине в модуль "Оперативный учет" и о вывезенной древесине в модуль "Лесосклад"

Отпуск древесины перед вывозкой

- Пользователь с группой ролей "Мастер" перед вывозкой обязан нанести необходимое количество бирок на лесоматериалы

Оформление провозных документов

- Пользователь с группой ролей "Мастер" кроме положенной ТГН оформляет провозной документ ТД-ЛЕС

Транспортировка лесоматериалов

- При осуществлении транспортировки лесоматериалов в модуле "Контроль транспорта" можно отследить местоположение лесовоза

Приемка лесоматериалов

- Уполномоченное лицо грузополучателя подтверждает факт получения древесины путем сканирования QR-кода либо внесением уникального номера в мобильное приложение

Рисунок 2 – Этапы функционирования ЕГАИС

1. Для снижения документооборота при отпуске лесоматериалов, рекомендуется в качестве провозного документа использовать только документ установленной формы «ТД-ЛЕС» и отказаться от оформления товарно-транспортной накладной (ТГН), так как информация в обоих документах дублируется. Дополнительно предлагается оставить в качестве учетного документа товарную накладную ТН-2, которая может быть заполнена автоматически с учетом вне-

сенной информации в мобильное приложение и отправлено по электронной почте грузополучателю. Данные рекомендации могут быть внедрены только после внесения изменений в соответствующие нормативно-правовые документы.

2. При осуществлении отгрузки и оформления провозных документов через мобильное приложение предлагается внести изменения в функционал мобильного приложения, который позволит суммировать объем отпускаемых лесоматериалов в машине и в прицепе, а также объемы отдельно по каждому сорту. Последнее допускается, в случае если не отменять оформление ТТН.

3. При поштучном бирковании твердолиственных пород допустить либо применение одной бирки для нескольких любых лесоматериалов, либо использование одной бирки на все лесоматериалы одного диаметра (или группы диаметров). Это позволит не только облегчить работу мастера, но и обеспечить нормальную работу системы без сбоев.

4. Добавить функцию в мобильное приложение, которая позволит в один провозной документ включить лесоматериалы, загружаемые на один автопоезд с нескольких складов при условии, если загрузка всей машины осуществляется внутри одного лесхоза и одним и тем же уполномоченным лицом. А также, рекомендуется разрешить учет лесоматериалов на одном складе из разных лесосек, что в целом упростит учет, а также процесс отгрузки круглых лесоматериалов.

5. Рекомендуется обеспечить синхронизацию работы программ ЕГАИС и 1С-Бухгалтерия, т. к. на сегодняшний день требуется повторно вводить всю учетную информацию в программу 1С-Бухгалтерия, хотя данные в отчетных документах, сформированные программами, периодически сверяются.

УДК 630*832:630*86

П.А. Протас, канд. техн. наук, доц.;
А.В. Ледницкий, канд. экон. наук, доц.;
Ю.И. Мисуно, ассист. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ И НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РЕСУРСОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Древесина является основным продуктом лесного хозяйства и используется в качестве важнейшего технологического сырья в лесопромышленной и деревообрабатывающей промышленности. Получаемая продукция лесной отрасли вносит вклад в формирование валового внутреннего национального продукта страны.

За последние несколько лет многие направления использования древесного сырья в Беларуси значительно развились. Вперед выходят химико-механические и химические способы переработки древесного сырья, что положительно сказывается на эффективности и полноте использования древесных ресурсов.

Состояние ресурсно-сырьевого потенциала деревообрабатывающей промышленности Беларуси находится в прямой взаимосвязи с характеристикой лесного фонда как первоочередного источника лесосырьевых ресурсов и древесного сырья, в частности. На сегодняшний день лесной фонд Республики Беларусь насчитывает порядка 9,7 млн га, лесистость составляет 40,1%. Запас древесины на корню оценивается в 1,86 млрд. м³.

Сырьевое обеспечение предприятий лесопромышленного производства за счет роста объема заготовок до 27 млн. м³ позволило увеличить производственные мощности ключевых игроков на рынке древесной продукции. Но, в то же время в 2020 г. на внутреннем рынке страны наблюдался дефицит сырья, в основном хвойного пиловочника и по большей части он касался средних и мелких частных деревопереработчиков. Причинами сложившегося дефицита стало значительное увеличение объемов переработки древесины, в том числе за счет выхода на проектные мощности модернизированных в предыдущие годы государственных заводов и фабрик. Если пять лет назад предприятия концерна «Беллесбумпром» перерабатывали 2,3 млн м³ древесины, то в 2020 году этот объем достиг 5,6 млн м³. Кроме того, наращивает мощности частный бизнес, обеспечивающий две трети общего объема переработки. Поскольку годовой объем заготовки древесины ограничен расчетной лесосекой, конкуренция на внутреннем рынке сырья будет обостряться [1].

Объемы переработки учреждениями Министерства лесного хозяйства РБ в 2020 году составили 5,95 млн. м³ лесоматериалов (или 108,2% к уровню прошлого года), в том числе деловой – 2,7 млн. м³, низкокачественной – 3,2 млн. м³. В основном это результат деятельности производств по механической переработке древесного ресурса: лесопиление, производство оцилиндрованных и погонажных изделий, древесной щепы, пеллет и др.

Одним из ключевых моментов развития деревообрабатывающей отрасли в Беларуси стал запрет на экспорт круглых лесоматериалов в 2018 г. Как можно видеть из графика на рисунке 1, этот запрет способствовал увеличению объемов переработки древесины в организациях Министерства лесного хозяйства, в основном за счет производства пиломатериалов с 31% в 2015 г. до 65,5% в 2020 г.



Рисунок 1 – Динамика структуры экспорта продукции, % и объема реализации, млн. долл. США

Значительную долю в деревообрабатывающем производстве страны имеют предприятия концерна «Беллесбумпром». Основной объем производимой ими продукции включает в себя лесо- и пиломатериалы, погонажные изделия, фанера, спички, древесные плиты, строительные конструкции, окна, двери, дома и древесное топливо. Доля их составляет 41% от общего объема производства. Доля целлюлозно-бумажной промышленности составляет порядка 35%, мебельной – 22%.

Следующим этапом для деревообрабатывающей отрасли становится развития дальнейшего использования продукции механической и химико-механической переработки древесного сырья. Так, после модернизации плитных заводов и расширения ассортимента древес-

ных плит в Беларуси получили развитие мебельные производства. Их количество с 2006 года (начала модернизации) выросло в два раза – с 600 до 1300 организаций. Такая же стратегия выстроена в концерне «Беллесбумпром» и по развитию целлюлозно-бумажной отрасли [2].

На рисунке 2 представлена структура промышленного производства по виду экономической деятельности. Согласно данным Национального статистического комитета за период 2016–2020 гг. значительно увеличились объемы производства следующих видов продукции лесопромышленного производства: пиломатериалы – на 67,3%; ДВП – 81,6%; панели или плиты паркетные собранные – 89,6%; поддоны плоские деревянные – 63,7%; производство спрессованного древесного топлива увеличилось более чем в 3 раза, целлюлозы древесной и целлюлозы из прочих волокнистых материалов – более чем в 27 раз.



Рисунок 2 – Структура промышленного производства по виду экономической деятельности, %

За январь-май 2021 г. был существенный прирост практически по всем видам древесной продукции. Так, по лесоматериалам продольно-распиленным прирост продаж составил на 42,8%, древесностружечным плитам – на 129,9 %, древесноволокнистым плитам – на 81,3 %, фанере клееной – на 95,6 %.

Стратегическим направлением развития лесопромышленного комплекса является строительство новых интегрированных производств по комплексной и глубокой переработке древесного сырья.

Предприятиями концерна «Беллесбумпром» в 2021 году планировалось переработать около 7 млн м³ древесины, из них 3 млн м³ целлюлозно-бумажными заводами в Светлогорске и Добруше [2].

В рамках развития пеллетного производства в концерне «Беллесбумпром» в Витебской области предприятие ООО «Акитама» реализует инвестиционный проект, направленный на вовлечение в переработку низкосортной древесины. Планируется создать крупнейший в Беларуси завод мощностью более 135 тысяч тонн топливных гранул в год [2].

Что касается производств, действующих на базе лесохозяйственных учреждений, то здесь в планах развитие механической переработки тонкомерной и низкокачественной древесины, так как в настоящее время на данный вид сырья спрос незначителен.

На основании всего вышесказанного можно отметить, что в плане потребления древесного ресурса в дальнейшем прогнозируется рост спроса на технологическое сырье, дровяную древесину, щепу и опилки, как сырья для производства пеллет и плитных производств, что может привести к его нехватке. Так, уже четко наметилась тенденция на сокращение экспорта топливной щепы, которая стала активно использоваться в республике для производства древесных пеллет.

Необходимо отметить, что в дальнейшей перспективе с учетом прогнозируемого увеличения объемов переработки на действующих предприятиях высока вероятность увеличения импорта круглых лесоматериалов в Беларусь. Так, за последние несколько месяцев 2021 г. через БУТБ на внутренний рынок реализовано 2,8 тыс. м³ круглых лесоматериалов и фанерного бревна иностранного происхождения на общую сумму более 284 тыс. долл. США [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Жибуль, Е. Дефицит древесины в Беларуси ударил по мелкому бизнесу / Е. Жибуль. – ЛесПромИнформ. – №1 (155). – 2021. – С. 50-53.
2. Председатель концерна «Беллесбумпром» Михаил Касько – о модернизации в деревообработке и импортозамещении / Беларусь сегодня от 11.11.2021 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.sb.by/articles/videt-za-lesom-perspektivu.html>. – Дата доступа: 16.11.2021.
3. БУТБ впервые провела сделку по продаже круглого леса из Евросоюза / БелТА от 03.08.2021. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://belwood.by/novosti/285-butb-vpervye-provela-sdelku-po-prodazhe-kruglogo-lesa-iz-evrosoyuza>

УДК 630*36

П.А. Протас, канд. техн. наук, доц.;
И.А. Евкович, студ. (БГТУ, г. Минск)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ЭФФЕКТИВНОМУ ОСВОЕНИЮ ЛЕСОСЕК В СЛОЖНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

Сложные эксплуатационные условия при освоении лесфонда отличаются дополнительными трудностями при работе техники, снижением ее производительности, увеличенными материальными и трудовыми затратами, повышенным расходом топлива и износом оборудования и др. К таким условиям относятся:

- лесосеки, поврежденные стихийными бедствиями (в первую очередь ветровально-буреломные);
- труднодоступные лесосеки на заболоченных почвогрунтах;
- труднодоступные участки лесфонда ввиду его слабой транспортной доступности (недостаточная густота лесотранспортной сети, недостаточное качество лесохозяйственных дорог и подъездных путей);
- участки лесфонда, где заготовка древесины ведется вблизи инфраструктурных объектов (дорог, линий электропередач, охотничьих объектов и др.).

На данных участках лесфонда в отличие от обычных условий усложняются процессы лесозаготовки в связи с чем, в целом эффективность при освоении таких лесосек обычными методами снижается. Например, производительность харвестеров при разработке ветровально-буреломных лесосек может снижаться на 15–30% при больших нагрузках на технологическое оборудование и на 10–25% меньшем выходе деловых лесоматериалов. При освоении лесосек на труднодоступных заболоченных почвогрунтах увеличивается буксование форвардеров, снижается их проходимость, рейсовая нагрузка и средняя скорость движения, что, в свою очередь, ведет к увеличению до 30% расхода топлива и снижению до 15–20% производительности.

С целью повышения эффективности лесозаготовительных работ в сложных эксплуатационных условиях были выполнены исследования, которые позволили разработать ряд рекомендаций. При этом рекомендации включают не только технологические решения, но также организационные и управленческие.

Следует отметить, что кроме рекомендаций непосредственно при освоении лесфонда, предложен и ряд решений, касающихся и подготовки лесфонда.

1. Лесосеки, поврежденные стихийными бедствиями:

– разработка и внедрение системы мониторинга и учета лесного фонда с применением БПЛА с целью своевременного обнаружения поврежденных участков и их оценки (позволит сократить сроки ликвидации последствий стихийного бедствия, обеспечить выбор эффективных систем машин и технологий рубок леса, снизить трудозатраты на отвод лесосек и др.);

– обеспечение ветроустойчивости насаждений путем выращивания ветроупорных насаждений с постепенной подготовкой деревьев к действию на них ветра;

– своевременное и качественное изреживание древостоя при проведении рубок ухода [1];

– своевременная ликвидация последствий ураганов в лесфонде с применением машинных комплексов, сокращающих сроки ликвидации и повышающих безопасность труда;

– увеличение доли несплошных рубок главного пользования, естественного лесовозобновления;

– подготовка квалифицированных специалистов с учетом опыта ликвидации последствий стихийных бедствий;

– корректировка норм расхода топлива и режущего инструмента, норм выработки с учетом степени повреждения древостоев перед разработкой лесосек и в процессе разработки;

– создание фондов страхования лесных насаждений от неблагоприятных погодных условий [2].

2. Труднодоступные заболоченные участки:

– планирование разработки лесосек в зимний период или в летние месяцы с минимальным количеством осадков с учетом очередности разработки лесосек и минимизацией затрат на транспортно-логистические операции;

– укрепление волоков лесосечными отходами;

– прокладка криволинейных трелевочных волоков с учетом пониженных заболоченных участков;

– регулировка и понижение давления в шинах;

– обеспечение техники опытными операторами и полноценное обеспечение машин расходными материалами;

– установка на тандемных тележках форвардеров гусениц соответствующего типа и параметров с учетом характеристик почвогрунтов;

– корректировка норм расхода топлива;

– снижение рейсовой нагрузки форвардеров на 20–30% с целью уменьшения давления на почвогрунты.

3. Труднодоступные участки лесфонда ввиду его слабой транспортной доступности:

– внедрение системы очередности разработки лесосек с учетом сезонности и их транспортной доступности;

– проведение своевременных реконструкции, ремонта и содержания существующей лесотранспортной инфраструктуры (лесохозяйственных дорог, подъездных путей, искусственных сооружений на дорогах);

– создание лесотранспортной инфраструктуры путем ежегодного строительства не менее 100 км лесохозяйственных дорог с учетом доставки лесоматериалов из лесосек форвардерами на промежуточные склады [3, 4];

– разработка нормативных требований для строительства подъездных путей к лесосекам.

4. Лесосеки вблизи инфраструктурных объектов:

– своевременная вырубка деревьев под ЛЭП в целях предотвращения возникновения пожара и повреждения ЛЭП;

– соблюдение правил безопасности и технологий спиливания при валке деревьев вблизи ЛЭП, дорог;

– создание противопожарных полос на линиях электропередач;

– усовершенствование средств индивидуальной защиты для работы в таких условиях;

– приоритетное применение машинных комплексов, а также специальных средств для направленной валки деревьев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Протас, П.А. Особенности разработки ветровально-буреломных лесосек / П.А. Протас, А.С. Федоренчик. // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: Материалы междунар. науч.-техн. конф., Воронеж, 25–27 марта 2014 г. – Воронеж, ВГЛТА, 2014. – №2. Ч. 3. – С. 202–206.

2. Носников, В.В. Обзор существующих методов уборки ветровалов, хранения и продажи поврежденной древесины и рекомендации по новым методам разработки и продажи ветровальной древесины с учетом возможностей лесного страхования /В.В. Носников [и др.] // Минск: Изд-во Алекс, 2018. – 35 с.

3. Насковец, М.Т. Транспортное освоение лесов Беларуси и компоненты лесотранспорта / М.Т. Насковец. – Минск: БГТУ, 2010. – 176 с.

4. Постановление Совета Министров Республики Беларусь от 28 января 2021 г. № 52 «О Государственной программе «Белорусский лес» на 2021–2025 гг.».

УДК 630*614

А.С. Панкратович, асп.;

П.А. Протас, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, г. Минск)

ПАРАМЕТРЫ ЛЕСОСЕК И ИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В РАЗЛИЧНЫХ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ УСЛОВИЯХ

Параметры лесосек, а также выбор схемы размещения технологических элементов на лесосеке оказывают большое влияние на объем проводимых подготовительных работ, технологический процесс заготовки древесины, а также на объем трудозатрат, необходимых для выполнения основных лесосечных работ и, в первую очередь, переместительных операций.

Технологические элементы лесосеки – участки лесосеки, занятые под трелевочные волоки, подъездные пути, погрузочные площадки, места складирования древесины, топливо-смазочных материалов, размещения бытовых помещений, стоянки техники.

К технологическим параметрам лесосеки можно отнести геометрические размеры лесосеки и всех ее технологических элементов, ее площадь, расстояние трелевки лесоматериалов и т. д.

Параметры лесосек и их технологических элементов выбираются с учетом вида и способа рубки, эксплуатационных условий, применяемых систем машин на этапе проектирования лесосечных работ в диапазонах, регламентированных рядом нормативных документов. К таким документам относятся Лесной кодекс Республики Беларусь, СТБ 1360-2002 «Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки главного пользования. Требования к технологиям», СТБ 1361-2002 «Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки промежуточного пользования. Требования к технологиям», «Правила рубок леса в Республике Беларусь», «Правила по охране труда при ведении лесного хозяйства, обработке древесины и производстве изделий из дерева», ТКП 622-2018 (33090) «Технические требования при лесоустройстве. Отвод и таксация лесосек в лесах Республики Беларусь».

Согласно данным нормативным документам регламентируется ряд показателей параметров лесосеки и ее технологических элементов.

Так, суммарная площадь технологических элементов, требующаяся для выполнения полного комплекса лесосечных работ по запланированной технологии, должна составлять не более 25% от общей площади лесосеки. [1]. Максимальная ширина лесосек в природоохранных, рекреационно-оздоровительных и защитных лесах не должна превышать 75 м в хвойных, 50 м в твердолиственных насаждениях и 100 м в мягколиственных насаждениях. Ширина лесосек в

насаждениях, произрастающих на склонах крутизной 15° и более не должна превышать 50 м. При проведении полосно-постепенных рубок ширина вырубаемой полосы не должна превышать 25 м. Ширина пасечного трелевочного волока должна обеспечивать возможность свободного, безопасного маневрирования трелевочных машин (форвардеров) при наборе пачки лесоматериалов, прохождении по волоку, в том числе на поворотах и примыканиях. Ширина подготовленного магистрального трелевочного волока должна быть не менее 5 м, а волока, проложенного по косогору – не менее 7 м. При проведении рубок промежуточного пользования ширина трелевочного волока должна быть равна ширине самоходной лесохозяйственной машины (трактора), увеличенной на 1 м, на косогоре – на 2, но не менее 3 м [2]. Площадь лесосеки при проведении рубок главного пользования в зависимости от категории лесов, способа и вида рубки указана в таблице [3].

Таблица 1 – Допускаемая площадь лесосек для рубок главного пользования

Способы (виды рубок)	Площадь лесосек, не более, га	
	природоохранные, защитные леса	эксплуатационные леса
Сплошные (сплошно-лесосечные):		
- хвойные;	7,5	10
- дуб и другие твердолиственные;	3	5
- мягколиственные	10	15
Постепенные (равномерно-постепенные)	20	30
Несплошные (группово-постепенные)	20	30
Несплошные (полосно-постепенные)	20	20
Несплошные (длительно-постепенные)	20	20
Выборочные (добровольно-выборочные)	20	20

Выполненный анализ приведенных документов позволил установить, что требуется уточнение и дополнение по ряду показателей параметров лесосек и их технологических элементов в зависимости от условий эксплуатации и применяемых систем машин. Например, значение ширины лесосек является условным, так как в большинстве случаев лесосеки имеют неправильную форму и данное ограничение на практике не выполняется в полной мере. Более того, при заготовке лесоматериалов машинными комплексами с последующим искусственным лесовосстановлением такое ограничение ширины лесосек снижает эффективность работы машин. Также отсутствует обоснование выбора схем размещения технологических элементов лесосек и их параметров с учетом различных эксплуатационных условий.

В настоящее время нет документа, регламентирующего технологические вопросы заготовки древесины машинными комплексами.

В этой связи Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь инициировало разработку ТКП в области технологии заготовки древесины комплексами многооперационных машин.

В процессе заготовки круглых лесоматериалов параметры технологических элементов лесосек и их размещение выбираются с учетом сложившейся практики лесопользования без должного учета эксплуатационных условий, затрат на транспортно-логистические операции и др. Это приводит к снижению эффективности лесосечных работ. Следует отметить, что в зависимости от условий эксплуатации параметры технологических элементов лесосек и их размещение будут отличаться. Например, в заболоченных условиях увеличивается суммарная площадь технологических коридоров ввиду снижения их работоспособности и потери проходимости машин. Также при расположении промежуточного склада на значительном расстоянии от лесосеки существенно снижается производительность форвардера. Эти и другие особенности необходимо учитывать при проектировании лесосечных работ для снижения трудовых и материальных затрат. Учитывая возрастающие требования к сортировке круглых лесоматериалов на лесосечных работах, необходимость обеспечения прямой вывозки лесоматериалов потребителю с промежуточных складов данные вопросы оптимизации параметров лесосек и их технологических элементов приобретают еще большую актуальность и требуют дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки главного пользования. Требования к технологиям: СТБ 1360-2002. – Введ. 01.07.2003. – Минск: Госстандарт, 2003. – 16 с.
2. Правила по охране труда при ведении лесного хозяйства, обработке древесины и производстве изделий из дерева. – Утв. постановлением Министерства труда и социальной защиты Республики Беларусь и Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь, 30.03.2020 г., № 32/5.
3. Об утверждении Правил рубок леса в Республике Беларусь [Электронный ресурс] : постановление Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, 19 декабря 2016 г., № 68 // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – Режим доступа: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631584&p1=1> – Дата доступа: 19.01.2022.

УДК 630*614-047.44

А.С. Панкратович, асп. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ РАЗМЕЩЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЛЕСОСЕКЕ

Одним из важных показателей, влияющих на процесс заготовки и вывозки древесины из лесосеки на верхний (промежуточный лесопромышленный) склад является объем транспортно-логистических операций на лесосеке. К таким операциям можно отнести трелевку древесины, переезды лесозаготовительной техники с одной технологической стоянки на другую, маневрирование лесозаготовительной, трелевочной и погрузочно-транспортной техники и некоторые другие. Существенным фактором, влияющим на продолжительность данных операций, являются схемы размещения технологических элементов на лесосеке.

Для лесозаготовок в Республике Беларусь характерно несколько следующих типовых схем размещения технологических элементов на лесосеке (рисунок 1) [1].

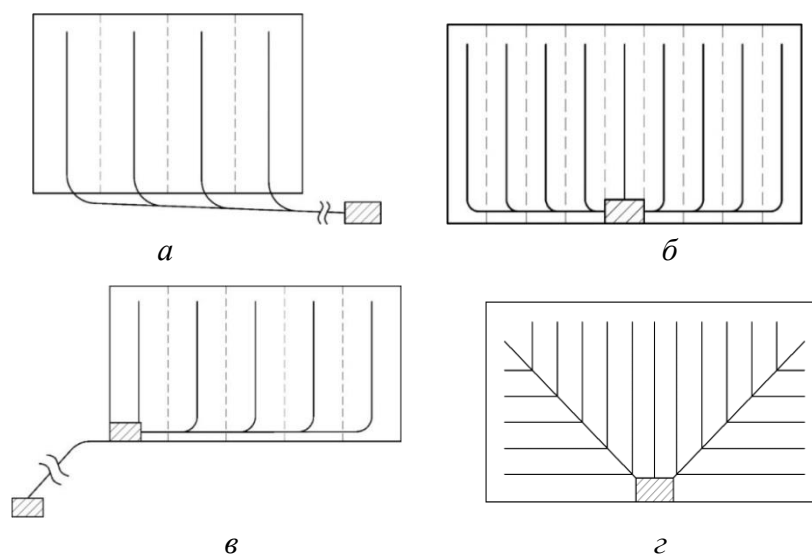


Рисунок 1 – Схемы расположения волоков и промскладов

- a* – параллельная схема расположения волоков с подвозкой заготовленных сортиментов на промежуточный склад, находящийся за пределами лесосеки;
- б* – параллельная схема расположения волоков с центральным расположением верхнего (промежуточного) склада в пределах лесосеки;
- в* – параллельная схема расположения волоков с верхним складом в углу лесосеки и двухстадийной трелевкой лесоматериалов на промежуточный склад;
- г* – диагональная схема расположения волоков с центральным расположением верхнего (промежуточного) склада в пределах лесосеки

Наиболее широко применяют параллельные схемы расположения волоков. Они позволяют более строго выдерживать разметку волоков и пазек на местности, обеспечивать четкое выполнение очередности разработки пазек с соблюдением безопасных условий, а также достаточно хорошую сохранность оставляемых на корню деревьев. При трелевке сортиментов верхний (промежуточный) склад может размещаться в углу лесосеки, посередине в ее пределах или выноситься за пределы лесосеки к лесохозяйственной дороге.

Диагональная схема расположения трелевочных волоков находит применение при трелевке и подвозке древесины в равнинной и холмистой местности на лесосеках, имеющих неэксплуатационные площади (куртины молодняка, болота и т. д.), а также с пересеченным рельефом местности. Она позволяет сократить расстояние трелевки и обеспечивает меньшие радиусы поворотов машин при примыкании пазечных волоков к магистральным под углом 30–45°. Однако эта схема требует больших трудозатрат при подготовке лесосек и более строгой организации лесосечных работ, чтобы выдерживать разметку волоков и пазек.

Может также применяться поквартальный (или групповой) метод работы, при котором схему технологического устройства (расположение волоков, размещение промежуточных складов, подъездных путей) составляют на весь квартал или группу лесосек (рисунок 2).



1 – квартальная просека; 2 – лесохозяйственная дорога;
 3 – граница выдела; 4 – трелевочные волоки; 5 – промежуточные склады;
 6 – направление трелевки (подвозки) лесоматериалов
Рисунок 2 – Схема технологического устройства квартала (группы лесосек)

Промежуточные склады размещаются равномерно по кварталу с учетом подъездных путей и лесохозяйственных дорог.

Выбор схемы размещения технологических элементов будет зависеть от принятого технологического процесса, вида рубки, системы машин, почвенно-грунтовых условий, размеров лесосек и их концентрации, наличия подроста и других факторов. При этом необходимо предусмотреть обеспечение безопасных условий труда, наиболее полную загрузку машин и механизмов, минимизацию переместительных операций, возможность создания межоперационных запасов древесины для ритмичной работы, а также выполнение лесоводственно-экологических требований.

Размещение технологических элементов на лесосеке также связано с ее размерами и конфигурацией. Здесь необходимо учитывать и последующее лесовосстановление. Например, принято считать, что с увеличением размеров лесосек как обсеменение, так и условия развития всходов, ухудшаются. Однако с лесозаготовительной точки зрения выгодными являются более крупные лесосеки. Экономия при работе на крупных лесосеках достигается в основном за счет сокращения трудозатрат на подготовительно-вспомогательные работы. На крупных лесосеках можно более эффективно использовать современные многооперационные лесозаготовительные машины. Производительность комплекса таких машин существенно зависит от геометрии лесосеки и размеров ее участков, прилегающих к одному промскладу и в целом схемы размещения на ней технологических элементов [2].

На практике в основном встречаются лесосеки, имеющие неправильную геометрию, в таких случаях необходимо проводить корректировки схем расположения технологических элементов, для того чтобы обеспечить эффективность лесозаготовительного производства. Для этого необходимо решать задачи оптимизации, в том числе с применением специализированных программ. Например, специалистами компании Ponsse Oyj (Финляндия) разработана программа Ponsse ForwarderGame. Данная программа предназначена для планирования оптимальной работы при транспортировке лесоматериалов из лесосеки на верхний или промежуточный лесосклад (рисунок 3), а также для обучения операторов форвардеров эффективным методам работы.

При выполнении планирования оптимальной работы по транспортировке лесоматериалов в программе учитываются условия эксплуатации, размещение технологических элементов, количество сортируемых категорий круглых лесоматериалов, их укладка в штабели на промскладе и др. Задаваясь целевой функцией или критерием оп-

тимальности можно проанализировать различные схемы размещения технологических элементов и предложить наиболее выгодный вариант на стадии проектирования технологического процесса лесосечных работ.



Рисунок 3 – Схема трелевки, воспроизведенная в программе Ponsse ForwarderGame

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод, что данное направление является актуальным, и требует дальнейших исследований, которые в перспективе могли бы позволить разрабатывать оптимальные схемы размещения технологических элементов на лесосеке с учетом эксплуатационных условий, применяемой системы машин на заготовке древесины, требований к сортировке, штабелевке и хранению лесоматериалов и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матвейко, А.П. Технология и машины лесосечных работ : учебно-методическое пособие для студентов вузов по специальности 1-46 01 01 «Лесоинженерное дело» / А.П. Матвейко, П.А. Протас. – Минск : БГТУ, 2008. – 116 с.
2. Угрюмов, Б. И. Определение оптимальных размеров лесосек при проведении рубок главного пользования / Б.И. Угрюмов, И.М. Ильин // Вестник КрасГАУ. – 2009. – № 12(39). – С. 169–172.

УДК 630*383.6:625.711.84

А.И. Науменко, ст.преп., канд. техн. наук;
П.А. Лыщик, проф., канд. техн. наук;
Д.А. Скворцов, студ. 5 курс ЛИД (БГТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЕ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

В последнее время появилось много публикаций о золах и золах уноса при сжигании практически всех видов твердого топлива и растительного сырья (биомассы) [1–3] в обычных топках.

Рассмотрены особенности образования золы-уноса от условий сжигания топлива, приведены исчерпывающие данные об их свойствах, а также о возможных областях применения. Однако пока нет подобной информации о золе-уносе при сжигании влажного и высокзолыного торфа в псевдоожиженном слое в среде кварцевого песка при температуре 750–800 °С.

Зола-унос из топок с псевдоожиженным слоем, которыми в последнее время оборудуются котельные установки, работающие на местном топливе, в частности, на фрезерном топливе. В таких топках сжигается фрезерный торф с высокой влажностью (до 65%) и зольностью (до 35%) в кипящем слое кварцевого песка. Кипящий слой из кварцевого песка фракцией 0,4–1,6 мм, содержащий около 2% торфа, поддерживается воздухораспределительной решеткой, через которую подводится первичный воздух.

Технология сжигания осуществляется таким образом, что подовая зола вместе с кварцевым песком подвергается циклонной сепарации, после которой крупная фракция песка и золы возвращается в топку, а мелкая объединяется с золой уноса и выделяется хвостовой циклонной системой очистки дымовых газов.

Средняя температура горения в топке не превышает 800 °С. Уловленная зола-унос представляет собой сухой темно-серый порошок с высокой дисперсностью (не имеющая остатка на сите с сеткой №008), со средней удельной поверхностью 2850 см²/г, средней плотностью 2650 кг/м³, насыпной плотностью 650–720 кг/м³. Потери при прокаливании золы уноса составляют 8,5–9%, рН равно 8, активность – 22,4 мг СаО/г.

В отопительный сезон в котельных с топками кипящего слоя образуется значительное количество золы-уноса (около 3–4 тонн в неделю), которая в настоящее время не используется и вывозится на полигоны ТБО.

Размер частиц золы-уноса не превышает 50 мкм. В ней установлено присутствие частиц четырех видов: мелкие (зерна размером менее 5 мкм);

шаровидная форма с размером 10–20 мкм; неправильной формы (многогранники, частицы овальной формы со средним размером 10–40 мкм) и агрегата, относящиеся к коксовому остатку торфа (рисунок 1).

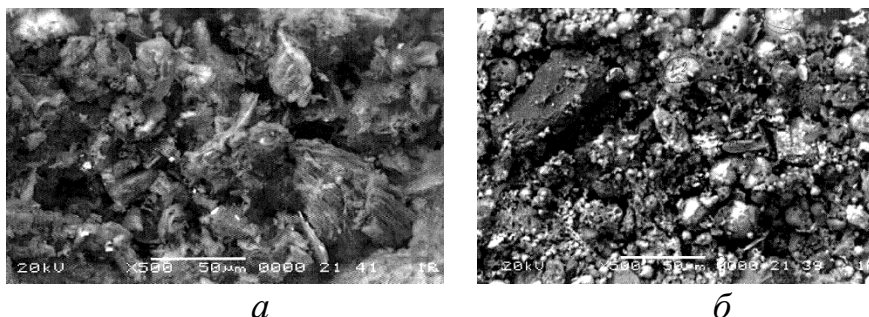


Рисунок 1 – Микрофотографии чистой торфяной золы (а) и зольного остатка (б)

Для уточнения химического и минерального состава зольного остатка привлечен метод точечного микрорентгеноспектрального анализа на сканирующем электронном микроскопе JSM – 5610 LV с системой химического анализа EDX JED-2001 JEOL (Япония). Проведены анализы как золы-уноса из топки с псевдоожиженным слоем при сжигании торфа, так и зольного остатка, полученного при сжигании торфа в лабораторной печи [4].

По результатам обработки спектров установлен химический состав изучаемых объектов (таблица 1).

Как видно по данным, приведенным в таблице 1, в золе-уносе содержится ряд оксидов и элементов, которые не обнаруживаются в торфяной золе. Это объясняется как условиями их образования, так и появлением в золе-уносе ингредиентов кварцевого песка. По нашему мнению, при фиксируемой приборами низкой температуры в объеме топки фактически в псевдоожиженном слое локально развиваются более высокие температуры, приводящие к испарению летучих элементов и оксидов как из торфа, так и с поверхности зерен кварцевого песка, в частности, Na_2O , K_2O , P_2O_5 , Cl . Пары их конденсируются на пылевидных частицах золы-уноса и песка в газовом потоке, вступают в химическое взаимодействие с ними с образованием легкоплавких аморфных соединений, представленных в золе-уносе в виде сфер (стекловидные частицы), агрегатированных ноздреватых частиц.

Появление в золе-уносе частиц с высоким содержанием оксидов железа объясняется удалением с поверхности зерен песка железистооксидной пленки за счет их взаимного трения в псевдоожиженном слое. Поскольку рентгенографическим анализом аморфные новообразования не определяются, можно предположить, что сферы и ноздреватые агрегатированные частицы по составу являются близкими к алюмоферритам и алюминатам кальция.

Таблица 1 – Химический состав образцов торфяной золы и золы-уноса из топки с псевдоожиженным слоем при сжигании торфа, мас. %.

Элементы и оксиды	Торфяная зола	Зола-унос			
		усредненный состав	мелкие и овальные частицы	сферы	частицы агрегированные круглой и многогранной формы
C	6,56	6,74	-	-	-
Al ₂ O ₃	5,24	4,40	1,49–4,25	3,30	5,42
SiO ₂	7,03	23,94	71,42–80,93	5,88	7,71
SO ₃	2,61	0,84	-	-	-
CaO	43,40	28,29	9,49–10,60	31,79	32,91
FeO	35,16	30,47	8,08–13,80	54,68	52,95
Na ₂ O	-	0,28	-	-	-
MgO	-	0,56	-	0,71	0,78
P ₂ O ₅	-	1,31	-	2,71	-
Cl	-	0,18	-	-	-
K ₂ O	-	0,99	-	0,93	-
TiO ₂	-	-	-	-	0,22
V ₂ O ₅	-	-	0–0,13	-	-

Присутствуют в золе-уносе, как установлено методом термогравиметрии, также вторичные карбонаты кальция и магния. Сопоставление содержания оксидов элементов в золе торфа и в золе-уносе позволяет предположить, что зола торфа и кварцевый песок в золе-уносе находится примерно в соотношении (2–3):1. Причем, частицы кварцевого песка имеют высокую дисперсность и покрыты, по-видимому, кальцийалюмоферитной пленкой (мелкие и овальные частицы).

Сравнительная характеристика объекта исследования и золы-уноса некоторых видов топлива при сжигании в высокотемпературных топках котельных приведена в таблице 2.

Таким образом, зола-унос из топок с псевдоожиженным слоем, работающих на торфе, при сжигании его в слое кварцевого песка по минералогическому составу, форме частиц близка к золе-уносу бурого и каменного углей. Но по химическому составу она отличается соотношением SiO₂ и CaO, более высоким содержанием FeO + Fe₂O₃, меньшим содержанием MgO, Al₂O₃, SO₃. Дополнительно содержит в своем составе P₂O₅.

По показателям свойств исследованную золу-унос можно отнести к нейтральной, обладающей слабой активностью. Активность ее обусловлена присутствием несвязанного дисперсного SiO₂, прошедшего термическую обработку [4].

Таблица 2 – Сравнительная характеристика исследованной золы-уноса и зол уноса при сжигании бурого и каменного углей

Наименование свойства, характеристики	Показатели свойств		
	Зола-унос котельной установки РУП ЖКХ, г. Ошмяны	Зола-уноса Рязанской ГРЭС, работающей на бу-ром угле месторождения Ирша	Зола-уноса ТЭС, работающей на буром угле Канско-Ачинского месторождения
C	6,74	-	-
Al ₂ O ₃	4,40	10,86	16,1
SiO ₂	23,94	46,44	47,2
SO ₃	0,84	2,17	2,2
CaO	28,29	22,15	19,6
CaO _{своб.}	-	3,55	-
FeO+ Fe ₂ O ₃	30,47	10,00	7,1
Na ₂ O	0,28	0,74	0,3
MgO	0,56	5,98	3,7
P ₂ O ₅	1,31	-	-
Cl	0,18	-	-
K ₂ O	0,99	0,56	0,8
TiO ₂	-	0,60	-
ППП, %	8,09	0,54	3,0
Гигроскопическая влага, %	1,07	0,07	2,0
Удельная поверхность, м ² /кг	286	374	-
Остаток на сите 008, %	0,00	7,00	5,0
Насыпная плотность, кг/м ³	600	-	920
Истинная плотность, кг/м ³	2450	-	2941
pH	8,0	-	-
Химич. активность, мг СаО/г	22,4	-	-
Mo	1,02	0,55	0,37
Ma	0,18	0,23	0,34
K _{осн} по Баженову	1,02	0,40	0,26
Класс	II	II	II
Применение	A, B	A, B	A, B

В соответствии с требованиями ГОСТ 25818 и 25592 к золам и золе-уносу энергетических установок зола-унос из топок с псевдоожиженным слоем, работающих на торфе, при сжигании его в слое кварцевого песка, по химическому составу и дисперсности можно от-

нести к классу II, по применению – к группе А и Б, т. е. она может использоваться в составе бетонов и строительных растворов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Bavbel E.I., Naumenko A.I. Laboratory studies to strengthen the local soils of forest roads / E.I. Bavbel, A.I. Naumenko // *Sciences of Europe*. 2018. № 31–1 (31). С. 38–42.

2. Bavbel E.I., Naumenko A.I., Zhilinsky M.V. Development of the composition of low-cement composite binder to strengthen the local road soils / E.I. Bavbel, A.I. Naumenko, M.V. Zhilinsky // *Sciences of Europe*. 2018. № 31–1 (31). С. 43–46.

3. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Состав минерального вяжущего для укрепления дорожных грунтов / П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель, А.И. Науменко // *Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность*. 2014. № 2 (166). С. 33–36.

4. Плышевский, С.В. Физико–химические исследования золы–уноса из топки с псевдооживленным слоем при сжигании фрезерного торфа / С.В. Плышевский, П.А. Лыщик, А.И. Науменко, Л.М. Виноградов, С. М. Добкин // *Тепло– и массоперенос – 2014: сб.тр. – Минск: Институт тепло– и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси*, 2015. – С. 30–35.

УДК 630*383.4

П.А. Лыщик, проф., канд. техн. наук;

Е.И. Бавбель, доц., канд. техн. наук;

К.А. Петрович, студ. 4 курс ЛИД (БГТУ, г. Минск)

ТРАССИРОВАНИЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ОСНОВЕ CREDO-ТЕХНОЛОГИЙ

При проектировании транспортного освоения лесных массивов Трассирование лесных автомобильных дорог является одним из существующих видов проектно-изыскательских работ, требующий творческий подход и трудно поддается автоматизации. Трасса дороги на долгие годы определяет ее технические и эстетические свойства, поэтому трассирование лесных автомобильных дорог требует определенного архитектурного искусства, которое приходит с опытом и по мере овладения техникой трассирования [1-3].

Благодаря уникальному алгоритмическому и программному обеспечению геометрического проектирования, основанного на мето-

дах координатной геометрии, трассировать в CREDO можно в любом стиле. В мощном инструментарии методов конструирования трассы ведущее место занимают различные сопряжения базовых элементов – прямых, круговых и переходных кривых, а поскольку это важно именно для автомобильных дорог, значительная роль отводится переходным кривым.

Стили трассирования лесных автомобильных дорог:

- «жесткая трасса», состоящая из длинных прямых, сопряженных круговыми кривыми и короткими переходными кривыми;
- «плавная трасса», состоящая из круговых кривых, сопряженных достаточно длинными переходными кривыми и прямыми вставками;
- «плавная трасса без прямых», состоящая из круговых и переходных кривых;
- «клотоидная трасса», состоящая почти исключительно из переходных кривых.

При трассировании «жесткой трассы» в системе CREDO ДОРОГИ прокладывают опорный ход и вписывают кривые в каждый поворот. После завершения трассирования положение всех построенных вершин угла (ВУ) можно исправить, удалить неудачные или ввести дополнительные. При таких корректировках трассы автоматически пересчитываются пикетные положения всех основных точек остальных закруглений – вершин углов, начала и конца кривой, начала и конца переходной кривой [4-5].

Конструктивно «плавная трасса» состоит из круговых кривых, сопряженных переходными кривыми. Стил «плавная трасса» логичен для проектирования на местности с холмистым рельефом.

Проектируя плавную трассу в CREDO, первоначально выделяют плановые и высотные препятствия и описывают вокруг них базовые круговые кривые. Важной особенностью камерального трассирования плавных трасс является необходимость построения в первую очередь базовых окружностей, а во вторую — базовых прямых

Круговые кривые сопрягают С- или S-образным звеном (рис. 1). Конструируя это сопряжение, стараются отказаться от прямых вставок. Для этого в диалоговом окне запроса вводят нулевую длину прямой вставки и подходящее значение отношения параметров A_1 и A_2 смежных клотоид (рекомендуется $K < 1,5$). Эти методы и приемы особенно полезны при трассировании в горной местности.



Рисунок 1 – Круговые кривые

При традиционном проектировании «клотоидной трассы» основная трудность заключалась в том, что, прежде чем «уложить» клотоиду на плане трассы, требовалось сначала рассчитать ее геометрические параметры, элементы детальной разбивки, а затем перенести на чертеж. При такой громоздкой методике гибкие линейки и шаблоны клотоид и круговых кривых мало помогали делу.

Клотоидной называют трассу, запроектированную преимущественно из сопрягающихся переходных и круговых кривых. Прямые вставки невелики или совершенно отсутствуют. Переходная кривая становится основным элементом трассы в плане.

В CREDO эти трудности преодолены. Клотоиду можно строить:

- ✓ как элемент сопряжения прямой и окружности, двух окружностей, окружности и клотоиды, двух клотоид и т.п.;
- ✓ как самостоятельный элемент трассы;
- ✓ как эквидистантный элемент конструкции проезжей части или земляного полотна.

При проложении клотоидной трассы в системе CREDO ДОРОГИ и построении ее сопряжений используют два основных метода:

1. Вписывание окружности между двумя любыми элементами;
2. Симметричное и асимметричное сопряжение двух окружностей.

Применение клотоид в трассе дороги не является гарантией обеспечения зрительной плавности. Необходимо обеспечивать требования к взаимному сочетанию элементов плана и продольного профиля дороги. Клотоидное трассирование облегчает выполнение этих требований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Основные принципы развития сети лесных автомобильных дорог / П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель, А.И. Науменко // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство,

природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2020. № 1 (228). С. 125–130.

2. Бавбель Е.И., Лыщик П.А., Науменко А.И. Создание опорной сети лесных автомобильных дорог на основе ГИС-технологий / Е.И. Бавбель, П.А. Лыщик, А.И. Науменко // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения. Материалы Международной научно-технической конференции. БГТУ. 2017. С. 140–144.

3. Лыщик П.А., Бавбель Е.И. Проблема развития транспортной инфраструктуры лесопользователей / П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2011. № 2. С. 62–64.

4. Петько А.Р., Бавбель Е.И. Клотоидное трассирование лесной автомобильной дороги / А.Р. Петько, Е.И. Бавбель // Студенческий журнал, ООО «Сибирская академическая книга», Новосибирск. 2019. № 30–2 (74). С. 46–48.

5. Бавбель Е.И., Лыщик П.А. Обоснование размещения лесотранспортных сетей / П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель / Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. 2009. № 4. С. 82–88.

УДК 630*383.6:625.711.84

П.А. Лыщик, проф., канд. техн. наук;

Е.И. Бавбель, доц., канд. техн. наук;

Е.А. Жолудев, студ. 5 курс ЛИД (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ НОРМ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Проблемы развития сети лесных автомобильных дорог и повышение их качества являются достаточно сложными. Для постройки дорог требуется значительное количество материалов, машин, трудовых и финансовых ресурсов. Оптимальное расходование зависит от технологии строительства и может быть достигнуто, если в основу будет положена обоснованная нормативная база. В связи с этим уточнены требования по размещению транспортной сети, увязав ее с перспективными технологиями лесопользования, а также тенденциями развития автомобильных дорог общего пользования. Уточнение нормативной базы позволило эффективно размещать ЛТС с учетом вида и характера проводимых в лесу работ, природными условиями и гидрологическими особенностями местности [1].

Еще более актуальными являются конструкции лесных дорог, для строительства которых могут и должны быть использованы различные местные и централизованные строительные материалы. Тре-

бования к конструкциям земляного полотна и дорожных одежд для различных типов местности по характеру и степени увлажнения грунта целесообразно обосновать и отразить в ТКП (технический кодекс установившейся практики). Для построенных и эксплуатируемых лесных дорог важно поддерживать необходимые технико-эксплуатационные качества. Требования к качеству и управлению состоянием дорог успешно можно реализовать также на основе соответствующих норм. Такие нормы можно изложить в ТКП или СТБ. Строительство, ремонт и содержание лесных дорог связаны с выполнением различных технологических операций. Для их осуществления необходимы надежные типовые технологические карты, а также единые нормы и расценки по выполнению различных дорожных работ в лесохозяйственных организациях страны [2].

Нормативное обеспечение проектирования, строительства и эксплуатации дорог не должно являться краткосрочной проблемой, его необходимо осуществлять последовательно и системно, учитывая опыт производственных организаций, достижения науки и техники.

Особого внимания в сфере нормативного обеспечения лесных дорог на современном этапе заслуживает ТКП 500-2016 «Лесохозяйственные дороги. Нормы проектирования и правила устройства» [3]. В данный нормативный документ внесены изменения, которые учитывают размещение лесотранспортной сети в эксплуатационных лесах на долгосрочную перспективу:

1. Проектирование лесных автомобильных дорог должно осуществляться с учетом очередности освоения лесных ресурсов и в соответствии с Программой транспортного освоения лесного фонда и строительства лесохозяйственных дорог. При этом проектирование должно начинаться с разработки схемы дорог на полное развитие организации лесного хозяйства или его части с учетом проекта организации и развития лесного хозяйства предприятия, а также с разработки основных проектных решений, необходимой для определения (по укрупненным показателям) стоимости строительства. Указанные документы должны составлять неотъемлемую часть проекта (или рабочего проекта) на первую очередь строительства. На последующие очереди строительства должны разрабатываться проекты или рабочие проекты в установленном порядке.

2. При наличии в составе движения различных типов транспортных средств за расчетные при проектировании элементов поперечного профиля дорог, габаритов мостов и дорожных одежд следует принимать автомобили и автопоезда с наибольшими габаритами и осевыми нагрузками, которыми перевозятся не менее 50% грузов или интенсивность движения которых составляет не менее 25% от общей.

3. В зоне лесозаготовок на площадях расчетного пятилетия сырьевых баз лесозаготовительных предприятий комплекс лесохозяйственных работ должен выполняться в основном за счет использования сети лесных дорог.

Для обеспечения транспортной доступности необходимо предусматривать:

а) строительство новых лесных (лесохозяйственных, лесовозных) дорог:

- на площадях вырубок и гарей прошлых лет;

- на площадях древостоев, требующих проведения рубок промежуточного пользования;

б) соответствующий режим эксплуатации, ремонта и поддержания в нормальном состоянии той части автомобильных лесных дорог, которые будут необходимы для проведения лесохозяйственных работ после завершения рубок;

в) реконструкцию в лесохозяйственных целях зимних автомобильных лесных дорог на площадях рубок прошлых лет.

4. Технические решения, принимаемые в проектах по элементам плана, продольного и поперечного профилей, конструкциям дорожных одежд и земляного полотна, выбору транспортных средств, следует обосновывать сравнением вариантов по технико-экономическим показателям: стоимости строительства, затратам на ремонт и содержание дорог и себестоимости перевозок (с учетом разницы в стоимости и продуктивности занимаемых земель и затрат на их рекультивацию), а также по возможным затратам на переустройство или усиление конструктивных элементов отдельных сооружений (или участков дороги), не отвечающих величине возросшего объема перевозок, габаритам и весовым параметрам, принятым в проекте транспортных средств.

5. При отсутствии схем транспортного освоения сеть дорог намечается с охватом всей территории лесного фонда организации лесного хозяйства или отдельной зоны тяготения (исходя из максимально благоприятных условий обеспеченности транспортом лесохозяйственного производства в перспективе) с выделением первой очереди строительства, осуществление которой позволит получить наибольший экономический эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лыщик П.А., Бавбель Е.И. Совершенствование норм проектирования лесных автомобильных дорог / П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн. Материалы докладов 84-й научно-технической конференции, посвященной 90-летию

юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с международным участием). Отв. За издание И.В. Войтов. 2020. С. 20–21.

2. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Основные принципы развития сети лесных автомобильных дорог / П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель, А.И. Науменко // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2020. № 1 (228). С. 125–130.

3. Лыщик П.А., Бавбель Е.И. Проектирование лесных автомобильных дорог на основе ТКП 500 «Лесные автомобильные дороги. Нормы проектирования и правила устройства» и ГИС-технологий / П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ. Материалы Международной научно-технической конференции в рамках Международного молодежного форума по лесопромышленному образованию (Лес-Наука-Инновации – 2018). 2018. С. 16–20.

УДК 629.3.027.514

Ю.А. Ким, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук;

Н.И. Жарков, ст. н. сотр., канд. техн. наук;

В.И. Гиль, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

СПОСОБЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДАВЛЕНИЯ ВОЗДУХА В ШИНАХ КОЛЕС МАШИН ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

В связи с нарастающим выпуском новых машин повышенной проходимости (лесных, сельскохозяйственных и др.), оснащенных крупногабаритными шинами возникает проблема повышения их эксплуатационных качеств [1]. Для решения этого вопроса является актуальным проведение исследований, изучающих влияние воздействия крупногабаритных шин на почвогрунт.

Экспериментальные исследования состояли из лабораторных и полевых. Определялась форма профилей шин с целью описания их математической зависимостью. В ходе лабораторных исследований определялась нагрузка на дорогу от машины. Объектом полевых исследований явилась машина, оснащенная системой централизованной накачки шин (ЦНШ) для задних колес. Такая система позволяет поддерживать необходимое давление воздуха в шинах задних колес из кабины водителя на ходу. Технологический процесс, выполняемый машинами повышенной проходимости часто связан с постоянным изме-

нением ее массы (особенно лесные машины). В ходе полевых испытаний был проведен хронометраж, в результате которого определена производительность работы системы централизованной накачки шин. Хронометраж проводился в следующей последовательности: время, необходимое для накачки шин (скорость нарастания давления), время, необходимое для стравливания воздуха из шин (скорость падения давления), время, затрачиваемое ежедневно для приведения в норму давления в шинах.

Проведенный хронометраж показал, что процесс нагнетания воздуха в шины задних колес (без применения ЦНШ) в пределах от 0,05 Мпа до 0,15 Мпа длится около 40 минут. В связи с этим были проведены работы, связанные с разработкой конструкции и установкой системы ЦНШ.

Система ЦНШ объединена с пневматической магистралью тормозов машины. Она содержит кран накачки шин с приводом 1, клапаны 2, установленные на ступицах колес, блоки уплотнителей, манометр 3 и трубопроводы. Кран накачки шин снабжен манометром. Сжатый воздух к крану накачки 1 поступает от воздухопровода, питающего стояночный тормоз. Кран накачки соединен с воздухоочистителем дизеля 4 и через трубопроводы и каналы цапф колес с полостями шин. Управление краном накачки 1 производится вручную. Рычаг привода тягой соединен с золотником крана и связан с рукояткой управления.

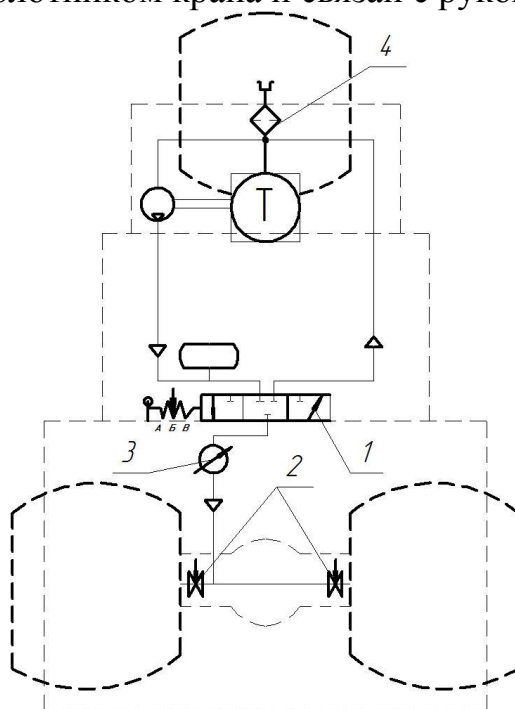


Рисунок 1 – Система централизованной накачки шин

Рукоятка имеет три фиксируемых положения: нейтральное «Б», накачка «А», откачка «В». В нейтральном положении рукоятки привода, золотник крана разобщает полости шин с воздухоочистителем и пневмомагистралью высокого давления. Манометр 3 для контроля давления воздуха в шинах подключен к воздухопроводу между колесным клапаном 2 и краном накачки 1. В нейтральном положении рукоятки привода крана накачки манометр 3 показывает давление воздуха в шинах. При установке рукоятки привода в положение накачка «А», золотник крана перемещается из нейтрального положения «Б», при этом полости шин соединены с пневмомагистралью высокого давления, а канал, сообщающийся с воздухоочистителем 4, остается перекрытым. Сжатый воздух через кран накачки 1, блок уплотнителей и другие элементы системы поступает в полости шин. При достижении требуемого давления в шинах рукоятку привода возвращают в нейтральное положение.

Для снижения давления воздуха в шинах, рукоятку привода необходимо установить в положение откачка «В». При этом полости шин соединяются с воздухоочистителем 4, а канал, связанный с пневмосистемой, перекрывается золотником, с целью исключения падения давления воздуха ниже 0,45 Мпа, что приводит к автоматическому срабатыванию стояночного тормоза. Соединение полостей шин с воздухоочистителем 4 (где давление ниже атмосферного) во время откачки, повышает скорость истечения воздуха из шин при работающем дизеле. После снижения давления в полостях шин до необходимой величины, рукоятку привода следует перевести в нейтральное положение.

Время накачки шин задних колес, с использованием ЦНШ, в пределах от 0,05 Мпа до 0,15 Мпа составляет 14 мин при максимальной нагрузке на колесо, и 10 минут при минимальной. Время падения давления воздуха при тех же условиях составляет соответственно 20 и 25 минут. Для повышения производительности работы системы ЦНШ необходимо увеличение площадей проходных сечений, а также оснащение машины автономной воздуходувкой, создающей давление до 0,15 Мпа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уменьшение отрицательного воздействия мобильных агрегатов на почву / И.С. Рабочев [и др.] // Вестник сельскохозяйственной науки. 1979. № 4. С. 90–94.

УДК 629.3.027.532.1

Ю.А. Ким, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);
М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук;
Н.И. Жарков, ст. науч. сотр., канд. техн. наук;
В.И. Гиль, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЦЕНТРАЛИЗОВАННОЙ НАКАЧКИ ШИН (ЦНШ) МАШИН ПОВЫШЕННОЙ ПРОХОДИМОСТИ

Стремление повысить безопасность движения привело к появлению ряда новых конструктивных решений для шин и ободов. Важнейшим шагом в этом направлении стало создание бескамерных шин. Их использование в специальной технике, а также применение на изделиях централизованной системы подкачки шин воздухом повышает стойкость к повреждениям. Однако система подкачки шин может компенсировать утечку воздуха и поддерживать давление в шине только до определенного предела, в зависимости от количества и характера сквозных повреждений [1].

В процессе эксплуатации машин повышенной проходимости, оснащенной системой ЦНШ, выявилось, что ее герметичность недостаточна. Основная доля отказов пневмосистем относится к уплотнениям вращающихся соединений воздухопроводов. Высокие окружные скорости приводят к нагреву контактирующих поверхностей; эти поверхности после остановки остывают и резина приваривается к металлической цапфе. Потере герметичности системы способствует образование выработки в виде канавки на цапфе от воздействия кромки манжеты, а также появление, в результате износа, радиального биения подшипников вала [2].

С целью повышения производительности и герметичности системы ЦНШ предлагается разработанное устройство крепления блока уплотнителей в ступице колеса приведенное на рис. Предлагаемое устройство состоит из полой цапфы колеса 1, ступицы 2, подшипников 3, блока уплотнителей 4, полуоси 5, эксцентриковой втулки 6, кольцевой гайки 7, диафрагмы 8 с гайками 9 и переходником 10. Устройство отличается от аналогичных существующих тем, что с целью повышения надежности и долговечности уплотнения, на корпусе переходники 10 закреплена, охватывающая его, эластичная диафрагма 8, которая установлена в эксцентриковой втулке 6 с зазором по наружному контуру и зафиксирована от осевого перемещения в ней. В существующих аналогичных устройствах корпус блока уплотнителей

неподвижно установлен в ступице, а переходник образует с эксцентриковой втулкой цилиндрическую пару. Таким образом, блок уплотнителей с переходником и ступицей лишены взаимных перемещений. Поэтому надежность герметизации и долговечность уплотнителей может быть обеспечена лишь при минимальном отклонении от concentricности расточки посадочной поверхности корпуса блока уплотнителей относительно посадочных поверхностей подшипников ступиц. Кроме того, некачественная или несвоевременная регулировка конических подшипников ступиц также способствует возникновению отклонения от concentricности рабочих кромок уплотнителей и, как следствие, ведет к возрастанию затрат энергии на накачку шин. Эти недостатки усугубляются в случае расположения внутри колеса планетарного редуктора, вызывающего увеличение размеров ступицы и повышение трудоемкости регулировок. Наличие эластичной диафрагмы 8, в предлагаемом устройстве, допускает перемещение переходника 10, в радиальном направлении заодно с блоком уплотнителей 4 и цапфой 1.

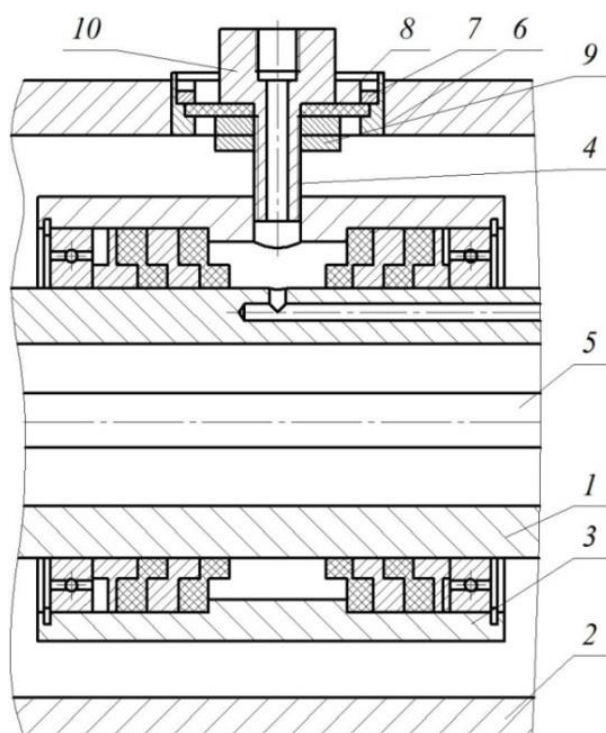


Рисунок 1 – Крепление блока уплотнителей

Изменять положение блока уплотнителей 4 на цапфе 1, что бывает необходимо при выработке канавок на поверхности цапфы колеса можно несколькими путями: ослабив кольцевую гайку 7, передвинув диафрагму 8 в эксцентриковой втулке 6, поворотом только эксцентриковой втулки

6, сочетанием перемещения диафрагмы 8 с поворотом эксцентриковой втулки 6. Таким образом, в предлагаемом устройстве путем уменьшения утечек сжатого воздуха снижаются затраты энергии на накачку шин, повышается долговечность и надёжность уплотнителей, расширяется диапазон возможных перестановок мест контакта уплотнителей с поверхностью цапфы, что в итоге повышает быстродействие и надёжность работы системы ЦНШ.

От пневмомагистрали системы ЦНШ возможно также запитывать различные устройства, позволяющие повысить эксплуатационные качества машин высокой проходимости.

Понижение величины давления воздуха в шинах колес вызывает повышение их радиальной деформации, что, в свою очередь, увеличивает величину угла крена машины, от действия центробежной силы, на поворотах.

Как показали результаты проведенных исследований, основным направлением снижения уплотняющего воздействия колесного двигателя на почву является снижение величин максимальных давлений в контакте. Разработан ряд технических решений пневматических колесных двигателей, позволяющих при прочих равных условиях снизить величины давлений в контакте, на которые выданы авторские свидетельства [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Балабин, И.В. «Внутреннее давление воздуха в шине как силовой фактор, определяющий несущую способность автомобильного колеса» / И.В. Балабин, В.А. Макаров, А.А. Писанец // Вестник Донецкой академии автомобильного транспорта. – 2012. – №3. – С. 63–67.

2. Регулирование давления воздуха в шинах / <https://meloci.ru/shiny/kak-rabotaet-podkachka-shin-na-urale.html> (дата обращения 03.12.2021).

3. Лещинский, Д.Ю.: «Анализ перспективных конструкций систем централизованной подкачки шин на примере патентов мировых производителей». / Д.Ю. Лещинский.; А.А. Смирнов.; Е.В. Ягубова.: Инженерный журнал: наука и инновации, 2013. – С. 12-45.

УДК 630*377.4

В.С. Исаченков, ст. преп.;
Е.А. Леонов, доц., канд. техн. наук;
А.А. Гарабажиу, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Д.В. Клоков, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);
К.В. Квит, студ. (БГТУ, г. Минск);

ОСОБЕННОСТИ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОЛЕСНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ МАШИНЫ С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ РАМОЙ

В настоящее время в Республике Беларусь значительная доля древесного сырья заготавливается специальными трелевочными машинами по хлыстовой технологии трелевки, которая имеет ряд проблемных моментов, одна из которых это преодоление участков трелевочного и магистрального волоков со слабой несущей способностью грунтов с технологическим приемом сброса пачки хлыстов со следующим подтаскиванием. Решение этой задачи видится в оснащении колесных трелевочных машин (КТМ) с шарнирно-сочлененной рамой (ШСР) комбинированным технологическим оборудованием (ТОК). Для прицепной части технологического оборудования наиболее рациональной является опорная система в виде одноосной тележки. Сочетание навесного и прицепного вариантов в ТОК позволит перераспределить нагрузки и крутящие моменты на полуосях базовой машины в момент буксования, увеличить проходимость, тем самым увеличить производительность. Для определения оптимального состава ТОК необходимо проведение исследований теоретической направленности.

Постановка задачи. Необходимо разработать математическую модель движения КТМ с ШСР оснащенной ТОК при работе в особых условиях как динамического объекта управления.

Основная часть. Задача была решена разработкой математической модели «Колесная трелевочная машина – комбинированное технологическое оборудование – пачка хлыстов».

Особенность построения новой модели аналогичны ранее разработанным математическим моделям. При этом выбор расчетно-кинематических и весовых параметров систем проводился на основе анализа показателей оказывающих преимущественное влияние на динамику поведения всей транспортной системы: статистические величины крутящего момента на передних и задних полуосях; величины вертикальных и угловых ускорений в центре тяжести входящих в систему

масс; величины вертикальных ускорений водителя и сиденья. Входящие в математическую модель КТМ с ШСР оснащенной ТОК дифференциальные уравнения имели ряд допущений аналогичны ранее разработанным математическим моделям, где за основу принимался базовый трактор с жесткой рамой МТЗ-82.1 и трелевочная машина МЛ-127 [1, 2], что позволило существенно минимизировать количество обобщенных координат в рассматриваемой модели [1, 2].

Предлагаемый математический аппарат позволяет получить в системах высокоуровневого программирования матрицы численных значений отклонений степеней свободы модели, первые производные этих отклонений и соответствующие им моменты времени протекания процесса, тем самым все необходимые параметры оценки динамической нагруженности КТМ с ШСР оснащенной ТОК.

Результаты теоретических исследований следует рассматривать при различных объемах пачки хлыстов, скорости перемещения базовой машины по микропрофилю трелевочных и пасечных волок. Весовые и геометрические параметры комбинированного технологического оборудования могут быть определены изменением входящих в динамическую систему параметров.

Заключение. Особенности математического моделирования КТМ с ШСР оснащенной ТОК является предложенное нами минимизация расчетно-кинематических и весовых параметров системы, что привело к существенному снижению количества численных значений степеней свободы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическая модель колесной машины для перемещения длинномерных грузов в особых условиях работы / В.С. Исаченков [и др.] // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сб. науч. тр.: в 2 т. Минск: БНТУ, 2021. Т. 1. С. 251–256.

2. Математическая модель колесной машины с комбинированным технологическим оборудованием для перемещения длинномерных грузов / В.С. Исаченков [и др.] // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии: сб. науч. ст. / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет. Минск: БНТУ, 2021. С. 163–170.

УДК 630*377.4

В.С. Исаченков, ст. преп.;
С.Е. Арико, доц., канд. техн. наук;
В.А. Симанович, доц., канд. техн. наук;
М.И. Пархимович, студ. (БГТУ, г. Минск)

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА БЕЗЧОКЕРНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ КОЛЕСНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ МАШИНЫ С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЕННОЙ РАМОЙ.

В настоящее время в Республике Беларусь значительная доля древесного сырья заготавливается специальными трелевочными машинами по хлыстовой технологии трелевки, которая имеет ряд проблемных моментов, одна из которых это преодоление участков трелевочного и магистрального волоков со слабой несущей способностью грунтов с технологическим приемом сброса пачки хлыстов со следующим подтаскиванием.

Решение этой задачи видится в оснащении колесных трелевочных машин с шарнирно-сочлененной рамой (КТМ) безчокерным технологическим оборудованием (ТОБ) в сочетании навесной и прицепной части, где для прицепной части рассматривается опорная система в виде одноосной тележки. Подобное сочетание навесного и прицепного вариантов в ТОБ позволит перераспределить нагрузки и крутящие моменты на полуосях базовой машины в момент буксования, увеличить проходимость, снизить затраты времени, тем самым увеличить производительность. Для определения оптимальных параметров ТОБ необходимо проведение исследований теоретической направленности.

Постановка задачи. Для обоснования выбора ТОБ необходимо разработать математическую модель движения КТМ при работе на грунтах со слабой несущей способностью.

Основная часть. Поставленная задача была решена разработкой математической модели на основе синтеза динамических звеньев входящих в систему «Колесная трелевочная машина – безчокерное технологическое оборудование – пачка хлыстов».

Особенность построения новой модели аналогичны ранее разработанным математическим моделям, где за основу принимался базовый трактор с жесткой рамой МТЗ-82.1 и трелевочная машина МЛ-127. При этом выбор расчетно-кинематических и весовых параметров системы проводился на основе анализа показателей оказывающих преимущественное влияние на динамику поведения всей транспортной системы:

статистические величины крутящего момента на передних и задних полуосях; величины вертикальных и угловых ускорений в центре тяжести входящих в систему масс; величины вертикальных ускорений водителя и сиденья. Для математической модели КТМ с ТОб дифференциальные уравнения имели такие же допущения как в ранее выполненных работах, что позволило существенно минимизировать количество обобщенных координат в рассматриваемой модели [1, 2].

Предлагаемый математический аппарат дал возможность получить в системах высокоуровневого программирования матрицы численных значений отклонений степеней свободы модели, первые производные этих отклонений в соответствующие им моменты времени протекания процесса, что позволило определить все необходимые параметры оценки динамической нагруженности и тем самым обосновать выбор ТОб при работе КТМ на грунтах со слабой несущей способностью. Определение весовых и геометрических параметров безчokerного технологического оборудования может быть достигнуто изменением входящих в динамическую систему параметров.

Заключение. Теоретическими исследованиями было доказано обоснованность выбора безчokerного технологического оборудования, что позволяет минимизировать динамическую нагруженность и увеличить производительность колесной трелевочной машины с шарнирно-сочлененной рамой по сравнению со стандартным технологическим оборудованием при работе на грунтах со слабой несущей способностью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическая модель колесной машины для перемещения длинномерных грузов в особых условиях работы / В.С. Исаченков [и др.] // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сб. науч. тр.: в 2 т. Минск: БНТУ, 2021. Т. 1. С. 251–256.

2. Математическая модель колесной машины с комбинированным технологическим оборудованием для перемещения длинномерных грузов / В. С. Исаченков [и др.] // Транспорт и транспортные системы: конструирование, эксплуатация, технологии: сб. науч. ст. / Министерство образования Республики Беларусь, Белорусский национальный технический университет. Минск: БНТУ, 2021. С. 163–170.

УДК 630*377.4

В.С. Исаченков, ст. преп.;
В.И. Гиль, ст. преп., канд. техн. наук;
В.А. Бобрович, доц., канд. техн. наук;
Б.В. Войтеховский, ст. преп.;
И.И. Пашкевич, студ. (БГТУ, г. Минск)

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ТРЕЛЕВОЧНОЙ МАШИНЫ НА БАЗЕ КОЛЕСНОГО ШАССИ С ЖЕСТКОЙ РАМОЙ

Основным методом теоретических исследований в настоящее время является разработка математических моделей движения специальных транспортных средств.

При математическом моделировании трелевочной машины на базе колесного шасси с жесткой рамой используется основной принцип системного подхода и синтеза динамических звеньев, входящих в систему «Колесная трелевочная машина – технологическое оборудование – пачка древесного сырья». Этот принцип предполагает нахождение независимых, изменяющихся во времени вертикальных, угловых и продольных координат (степеней свободы), определяющих положение всех масс, входящих в систему при рассмотрении переходных и установившихся режимов движения [1].

Основная часть. Особенностью построения новой модели является то, что за основу принимался базовый трактор с жесткой рамой МТЗ-82.1. При этом выбор расчетно-кинематических и весовых параметров системы предлагается проводить на основе анализа показателей, оказывающих преимущественное влияние на динамику поведения всей транспортной системы: статистические величины крутящего момента на передних и задних полуосях; величины горизонтальных, вертикальных и угловых ускорений в центре тяжести входящих в систему масс.

Для математической модели рассматриваемой машины в дифференциальных уравнениях предлагается использовать следующие допущения: машины рассматривались как плоская симметричная система относительно продольной оси в вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести машин; движение машин по опорной поверхности прямолинейно (без спусков и подъемов); колебания масс входящих в систему малы; упругие характеристики шин и других упругих элементов линейные или кусочно-линейные, а силы сопротивления пропорциональны скорости деформации; высоты микроне-

ровностей трелевочного волока под колесами правой и левой колеи усредняются; высокочастотные колебания элементов трансмиссии как с сосредоточенными, так и с распределенными параметрами не рассматриваются; колебания в поперечной плоскости не связаны с продольно–вертикальными; беговая дорожка шины рассматривается в виде безинерционного обруча с радиусом, равным радиусу качения, а контакт колеса с дорогой точечным; шины имеют постоянный контакт с микропрофилем без пробуксовки и бокового проскальзывания; жесткость шин, а так же подвески переднего моста, трансмиссии, технологического оборудования и пачки древесного сырья постоянны. Эти допущения позволяют минимизировать количество обобщенных координат в рассматриваемой модели.

Для увеличения достоверности результатов теоретических исследований предлагается рассматривать различные скорости перемещения базовой машины по микропрофилю трелевочного и пасечного волоков, объемы пачки древесного сырья.

При использовании математического аппарата есть возможность получить в системах высокоуровневого программирования матрицы численных значений отклонений степеней свободы модели, первые производные этих отклонений и соответствующие им моменты времени протекания процесса, что позволяет определить все необходимые параметры оценки динамической нагруженности рассматриваемой модели.

В качестве критерия оптимизации предлагается выбирать минимальные значения максимумов нормированных спектральных плотностей ускорений рассматриваемых обобщенных координат. Определение весовых и геометрических параметров технологического оборудования возможно изменением входящих в динамическую систему параметров.

Заключение. Предложенная методика проведения теоретических исследований и основные принципы моделирования трелевочной машины на базе колесного шасси с жесткой рамой могут быть использованы при проектировании новой лесозаготовительной техники.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическая модель колесной машины для перемещения длинномерных грузов в особых условиях работы / В.С. Исаченков [и др.] // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сб. науч. тр.: в 2 т. Минск: БНТУ, 2021. Т. 1. С. 251–256.

УДК 630*377.4

В.С. Исаченков, ст. преп.;
С.В. Красковский, доц., канд. техн. наук;
С.В. Ращупкин, ассист.; С.Э. Бобровский, ст. преп.;
Н.А. Романенко, студ. (БГТУ, г. Минск)

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ «КАБИНА – СИДЕНЬЕ – ВОДИТЕЛЬ» ПРИ ИМИТАЦИОННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ КОЛЕСНЫХ ТРЕЛЕВОЧНЫХ МАШИН

В настоящее время выбор рациональной модели системы «Кабина – сиденье – водитель» при математическом моделировании машин специального назначения имеет большое значение для решения ряда проблемных моментов при проектировании лесозаготовительной техники. В зависимости от поставленной задачи подобная модель будет иметь существенные отличия, которые связаны в первую очередь с определением направления главного взаимодействия основной системы подобных машин «Колесная трелевочная машина – технологическое оборудование – пачка древесного сырья».

Постановка задачи. Необходимо выбрать рациональную математическую модель системы «Кабина – сиденье – водитель» при имитационном моделировании колесных трелевочных машин.

Основная часть. Решение поставленной задачи видится в рассмотрении двух основных варианта такого взаимодействия. Один из них – это влияние динамических процессов, происходящих с предметом труда через технологическое оборудование и колесный трелевочный трактор на водителя и обратная ей задача – влияние динамических процессов, происходящих с водителем во время движения на общую динамику базовой машины и технологического оборудования. Особенность построения предлагаемых моделей аналогичны ранее разработанной математической модели, где за основу принималась кабина базового трактора с жесткой рамой МТЗ-82.1 [1]. При этом выбор расчетно-кинематических и весовых параметров проводился на основе анализа показателей, оказывающих преимущественное влияние на динамику поведения всей транспортной системы.

Для первого варианта взаимодействия наиболее рациональным является рассматривать водителя в виде трех массовой математической модели обратных маятников. Однако подобная математическая модель водителя включает в себя тригонометрические функции обобщенных угловых координат, что значительно усложняет расчет.

Для упрощения расчетов предлагается применить разложение тригонометрических функций в бесконечную сумму степенных функ-

ций. Так, при аппроксимации тригонометрические функции входящих в математическую модель заменяются многочленами, а линеаризация тригонометрических уравнений происходит путем разложения в ряд Тейлора с последующим отсечением всех членов многочлена выше второго порядка [2]. Такие преобразования имеют смысл, когда колебания обобщенных угловых координат математической модели водителя не превышают 15° .

Для решения обратной задачи наиболее рациональным видится представление математической модели водителя в виде трех массовой модели, в которой угловые колебания обобщенных координат и крутильные жесткости системы заменены на приведенные горизонтальные, т.к. вертикальные составляющие малозначительны. Для предлагаемой математической модели системы дифференциальные уравнения должны иметь ряд допущений: кабина рассматривается как плоская симметричная система относительно продольной оси в вертикальной плоскости, проходящей через центр тяжести; колебания масс входящих в систему малы; упругие характеристики элементов системы линейные или кусочно-линейные, а силы сопротивления пропорциональны скорости деформации; высокочастотные колебания как сосредоточенными, так и с распределенными параметрами не рассматриваются; колебания в поперечной плоскости не связаны с продольно–вертикальными. Предложенный вариант позволяет существенно минимизировать количество обобщенных координат в рассматриваемой модели и упростить расчет.

Заключение. Выбор рациональной математической модели системы «Кабина – сиденье – водитель» при имитационном моделировании колесных трелевочных машин зависит от взаимодействия базовой машины с технологическим оборудованием и предметом труда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Математическая модель динамики тракторного поезда на базе колесного трактора класса 1.4-2.0 / Я.И. Остриков [и др.] // Труды БТИ им. С.М. Кирова. Сер. I Лесная и деревообработ. пром-сть. 1993. Вып. I. С. 56–60.
2. Вдовин А.Ю., Золкина Л.А., Воронцова Н.Л. Справочник по математике для бакалавров: Учебное пособие. – СПб.: Издательство «Лань», 2014. – 80 с.

УДК 630.31

Р.О. Короленя, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ЭВРИСТИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МЕСТОРАСПОЛОЖЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОГО СКЛАДА ПРИ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ТРАНСПОРТИРОВКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Одним из способов оптимальной организации двухступенчатой транспортировки древесины является следующий [1–6]. Расчет «равновыгодного» расстояния производится из условия равенства себестоимости выполнения транспортной работы [2–6].

После определения равноценной длины ездки, определяются зоны тяготения отведенных в рубку лесосек промежуточным площадкам, расположение которых определятся по полученному значению равноценной длины.

Данный метод расчета имеет существенный недостаток – в рамках зоны тяготения не определено точное местоположение перегрузочных площадок и невозможно установить их количество. Помимо этого, используя такой подход необходимо учитывать себестоимость устройства перегрузочных площадок и их значительное количество.

Другой способ, позволяющий решить поставленную задачу – метод определения координат центра тяжести грузовых потоков [1, 7–9]. При этом в качестве производителей выступают лесосеки, отведенные в рубку, а в качестве потребителей – конечные потребители в рамках рассматриваемой задачи (собственные цеха переработки древесины, железнодорожные перегрузочные станции, другие потребители).

В зависимости от критерия оптимизации и учета расстояний между поставщиками, потребителями и складом можно выделить два типовых случая:

а) месторасположение промежуточной площадки (склада) определяется в виде координат центра тяжести грузового потока по зависимостям (1):

$$A_x = \frac{\sum Q_i \cdot x_i}{\sum Q_i}, \quad A_y = \frac{\sum Q_i \cdot y_i}{\sum Q_i}, \quad 1)$$

где A_x, A_y – координаты месторасположения промежуточного склада; Q_i – объем груза, м³; x_i, y_i – расстояние от осей координат до расположения поставщика или потребителя, км.

б) месторасположение склада определяется как центр тяжести равновесной системы транспортных затрат, расчет же координат склада определяется по зависимостям (2).

$$A_x = \frac{\sum Q_i \cdot x_i \cdot T_i}{\sum Q_i \cdot T_i}, A_y = \frac{\sum Q_i \cdot y_i \cdot T_i}{\sum Q_i \cdot T_i}, \quad 2)$$

где T_i – транспортный тариф для i -го поставщика или потребителя, руб / км · м³.

Данный подход достаточно сложен для практической реализации в реальных производственных условиях, так как не дает ответа на ряд вопросов, связанных с существующей транспортной инфраструктурой и не учитывает эффективность функционирования техники на первой ступени.

С учетом сказанного, предлагаемый подход заключается в следующем [1]. Пусть имеются рассредоточенные по площади лесосеки, отведенные в рубку в рассматриваемом временном периоде. Имеется один потребитель – цех по переработке древесины. В соответствии с методикой, далее определяется система координат и ее начало. В случае, когда имеется только один потребитель, начало системы координат следует располагать по координатам потребителя.

На следующем этапе происходит выбор масштаба по координатным осям. Масштаб следует выбирать таким образом, чтобы в полученную систему координат вошли все отведенные в рубку лесосеки.

На следующем этапе предлагается определять координаты местоположения промежуточных складов для каждой полученной четверти по зависимостям (1) или (2). В результате можно получить четыре промежуточных склада так, как показано на рисунке 2.

При расчетах следует принимать координаты потребителей как координаты тех мест, на которых запланировано складирование сортиментов на лесосеках, либо как координаты геометрических центров фигур, описывающих лесосеки.

После определения координат промежуточных складов, могут возникнуть следующие базовые ситуации.

1. В четверти на схеме отводится одна лесосека. Координаты промежуточного склада по расчету получаются в центре лесосеки. Фактическое месторасположение промежуточного склада следует определять с учетом существующих транспортных путей и равноценной длины ездки с грузом, определяемой по зависимости (3) (Рисунок, IV четверть).

2. В четверти на схеме отводится в рубку несколько лесосек (рисунок, I четверть). Координаты промежуточного склада по расчету совпадают с координатами центра одной из лесосек и примыкают непосредственно (находятся в непосредственной близости) существующим путям транспорта. Фактическое месторасположение склада

следует определять по полученным координатам промежуточного склада для данной четверти.

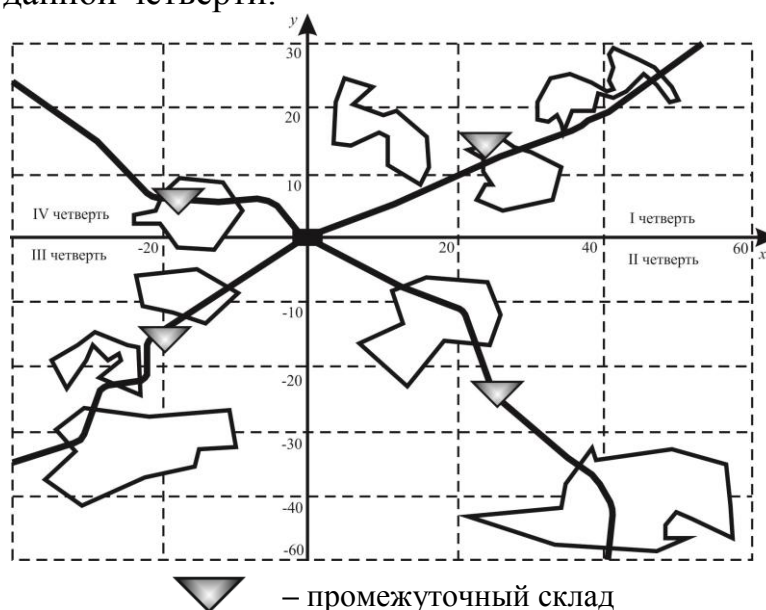


Рисунок 1 – Нанесение складов по рассчитанным координатам

3. В четверти на схеме отводится в рубку несколько лесосек (рисунок, II четверть). Координаты промежуточного склада по расчету получились на значительном удалении от отведенных лесосек и примыкающие к существующим путям транспорта. В данном случае принимать решение о фактическом расположении промежуточного склада следует с учетом величины равновесной длины ездки и дополнительных расчетов по определению затрат на обустройство одного или, все же, нескольких промежуточных складов, примыкающих к отведенным лесосекам.

4. В четверти на схеме отводится в рубку несколько лесосек (рисунок, III четверть). Координаты промежуточного склада по расчету получились на удалении от существующих путей транспорта.

В данном случае, дополнительно нужно определить целесообразность устройства дополнительного подъезда к месту, рассчитанному по зависимостям (1) или (2). Или провести расчет грузовой работы при варианте, когда полученной местоположение склада искусственно смещается к существующим транспортным путям без дополнительных затрат на обустройство подъездных путей.

В результате проведенных исследований, разработана методика оптимального расположения промежуточных площадок у дорог общего пользования, позволяющая сократить затраты на вывозку заготовленной древесины в зависимости от конкретных природно-производственных условий мест проведения лесозаготовительных ра-

бот. Разработанная методика, основана на синтезе методов определения мест расположения перегрузочных площадок при двухступенчатой вывозке сортиментов и дальнейшем эвристическом анализе полученных результатов с выбором оптимального варианта. Необходимо отметить, что разработанный подход требует уточнений для конкретных транспортных средств и реальных природно-производственных условий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Короленя Р.О. Совершенствование методики оптимального расположения промежуточного склада при двухступенчатой вывозке древесины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 136–142. DOI: <https://doi.org/10.52065/2519-402X-2022-252-1-136-142>.
2. Сухопутный транспорт леса / В.И. Алябьев [и др.]. М.: Лесная пром-сть, 1990. 413 с.
3. Салминен Э.О. Лесопромышленная логистика. СПб.: СПбГЛТУ, 2012. 139 с.
4. Алябьев В.И. Оптимизация производственных процессов на лесозаготовках. М.: Лесная пром-сть, 1977. 232 с.
5. Бычков В.П. Эффективность транспорта в комплексных лесных предприятиях. Воронеж: Изд-во ВГУ, 1989. 176 с.
6. Бычков В.П. Использование транспорта на лесных предприятиях. М.: Лесная пром-сть, 1986. 112 с.
7. Модели и методы теории логистики / В.С. Лукинский [и др.]. СПб.: Питер, 2007. 448 с.
8. Катаргин Н.В., Ларин О.Н., Венде Ф.Д. Анализ и моделирование логистических систем. СПб.: Лань, 2021. 248 с.
9. Логистика и управление цепями поставок. Теория и практика / Б.А. Аникин [и др.]. М.: Проспект, 2015. 608 с.

УДК 630.3:519.6

Р.О. Короленя, доц., канд. техн. наук;
А.Д. Третьяк, студ.; К.С. Кмита, студ. (БГТУ, г. Минск)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ЛЕСНЫХ ГРУЗОПОТОКОВ

Одним из вариантов совершенствования бизнес-процессов лесозаготовительного производства является оптимизация грузопотоков заготовленной древесины, т. е. решение «транспортной» задачи.

Транспортная задача – задача на получение оптимального плана перевозок продукта из пункта наличия (производства) в пункт потребления (переработки). Цель – доставка продукции в определенное место при минимальных совокупных затратах ресурсов [1].

В настоящее время можно выделить следующие методы решения транспортной задачи [1–5].

Метод потенциалов. Позволяет упростить нахождение оценок свободных клеток и позволяет относительно быстро определить оптимальный план перевозок. При этом необходимо иметь некий допустимый опорный план, полученный каким-либо способом [4].

Систему потенциалов можно построить только для невырожденного опорного плана [4].

Венгерский метод. Алгоритм оптимизации, решающий задачу о назначениях за полиномиальное время. Имеется возможность оценивать близость результата каждой из итераций к оптимальному плану перевозок. Это позволяет контролировать процесс вычислений и прекратить его при выполнении условия заданной точности. Достаточно трудоемкий [5].

Дельта-метод. Позволяет решать открытую модель транспортной задачи, не приводя ее к закрытой модели, однако это возможно только в том случае, если вычисления абсолютно правильны и все перераспределения произведены по наилучшим цепочкам. Достаточно быстро определяется оптимальный план. При использовании этого метода необходимо иметь допустимый опорный план [3–5].

Распределительный метод. Данный метод состоит в последовательном улучшении опорного плана перевозок путем отыскания на каждом шаге выгодных циклов переноса грузов. Обладает достаточно простоты вычислительным алгоритмом. Необходимо отыскивать циклы для всех свободных клеток и находить их цены [3–5].

Симплекс метод. Используется небольшое число итерация для определения направления движения по сравнению с другими планами.

Обладает простой вычислительным алгоритмом, легко учитываются ограничения на область изменения переменных. Но при этом реализация метода не дает информации о влиянии каждой переменной на функцию отклика [3–5].

Метод Фогеля. В этом методе используется понятие штрафной стоимости. Штрафная стоимость – разница между самым дешевым маршрутом и следующим за ним. Суть метода – минимизация штрафной стоимости [3–6].

Метод минимальной стоимости. Суть метода заключается в том, что из всей таблицы стоимостей выбирают наименьшую, и в клетку, которая ей соответствует, помещают меньшее из чисел a_i , или b_j . Затем, из рассмотрения исключают либо строку, соответствующую поставщику, запасы которого полностью израсходованы, либо столбец, соответствующий потребителю, потребности которого полностью удовлетворены. Из оставшейся части таблицы стоимостей снова выбирают наименьшую стоимость.

Процесс распределения продолжают до тех пор, пока все запасы не будут распределены, а потребности удовлетворены [3–6].

Метод дифференциальных рента. Суть метода заключается в том, чтобы распределить часть груза наилучшим образом между пунктами назначения, в результате чего мы получим оптимальное решение [3–6].

ЛИТЕРАТУРА

1. Вентцель Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология: учебник для вузов. М.: Дрофа, 2004. 208с.
2. Тюхтина А.А. Математические модели логистики. Транспортная задача: Учебно-методическое пособие. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, 2016. 66 с.
3. Кузнецов А.В., Сакович В.А., Холод Н.И. Высшая математика. Математическое программирование: учебник. 4-е изд., стер. СПб.: Издательство «Лань», 2013. 352 с.
4. Секербаева А.Ф. Анализ существующих методов решения транспортной и складской задач. // Молодой ученый. 2016. № 27 (131). С. 506-509. URL: <https://moluch.ru/archive/131/36315/> (дата обращения: 25.01.2022).
5. Кузнецов Ю.Н., Кузубов В.И., Волощенко А.В. Математическое программирование. М.: Высшая школа, 1976. 352 с.
6. Юдин Д.Б., Гольштейн Е.Г. Задачи и методы линейного программирования: Задачи транспортного типа. М.: ЛИБРОКОМ, 2010. 184 с.

УДК 630.31:004.94(07)

Р.О. Короленя, доц., канд. техн. наук;
К.А. Гриневич, студ. (БГТУ, г. Минск)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОДНОМАШИННЫХ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ СИСТЕМ

Эффективность работы любого предприятия, в том числе и предприятий лесного комплекса, во многом определяется рациональной организацией бизнес-процессов.

Так как практически любой бизнес-процесс можно охарактеризовать с помощью инструментария систем массового обслуживания (СМО), то имитационное моделирование данного процесса позволит выявить «узкие места» в работе сети и сформулировать предложения по его совершенствованию.

«Имитационное моделирование есть процесс конструирования модели системы и постановки экспериментов на этой модели с целью либо понять поведение системы, либо построить теории и гипотезы, которые бы объясняли поведение системы как в настоящем времени, так и в будущем» [1].

Под имитационным моделированием любой системы массового обслуживания, в общем случае, понимают весь процесс до получения численных характеристик работы изучаемой системы. В рамках исследуемой задачи, в этом процессе в литературных источниках выделяют ряд этапов [2–8]. На наш взгляд, одним из важных этапов является выбор инструмента (языка программирования) для создания программы имитационного моделирования. В настоящее время для решения такого рода задач разработано множество программных продуктов, среди которых можно выделить следующие.

ARIS (<https://www.ariscommunity.com/university>). Программа имеет удобный графический интерфейс, большое число стандартных объектов для описания бизнес-процессов. ARIS имеет дополнительные модули-интерфейсы, обеспечивающие интеграцию с системами Microsoft Project, Erwin, Designer/2000, IBM Flowmark, и т.д. Данный продукт сложен для изучения для неопытных пользователей и имеет ряд других недостатков [2].

ITHINK (<https://www.iseesystems.com/store/products/ithink.aspx>). Отличается функциональной простотой, доступностью, не требует специальных навыков и владения сложными математическими методами, не требует больших затрат аппаратного обеспечения [3].

Powersim (<https://powersim.com>). Пакет имеет развитые средства использования внешних данных из информационной среды предприятия. Имеет встроенные механизмы работы с обычными текстовыми файлами, файлами Excel и хранилищами данных SAP BW. Пакет не требует высоких параметров аппаратного и программного обеспечения [4].

Extend (<https://extendsim.com>). Пакет имеет графический интерфейс, позволяющий создавать схемы процессов и производить имитационные эксперименты. Имеется возможность просмотра моделей в виде графиков, а также с использованием 2D- и 3D-анимации [5].

AllFusion Process Modeler (<https://www.erwin.com>). Пакет обладает интуитивно-понятным графическим интерфейсом. В то же время отсутствуют стандартные объекты для описания бизнес-процессов, возможность разработки только статических моделей [6].

Anylogic (<https://www.anylogic.ru>). Построение модели AnyLogic не требует написания программного кода, обширная область применения, логически понятный интерфейс, бесплатная версия для личного пользования. Она обладает удобным интерфейсом, богатым аналитическим инструментарием, содержит средства визуализации процесса [7, 8]. Создание модели и решение классической задачи моделирования одномашинной лесопромышленной системы [9, 10] с использованием инструментария Anylogic представлены на рисунке:

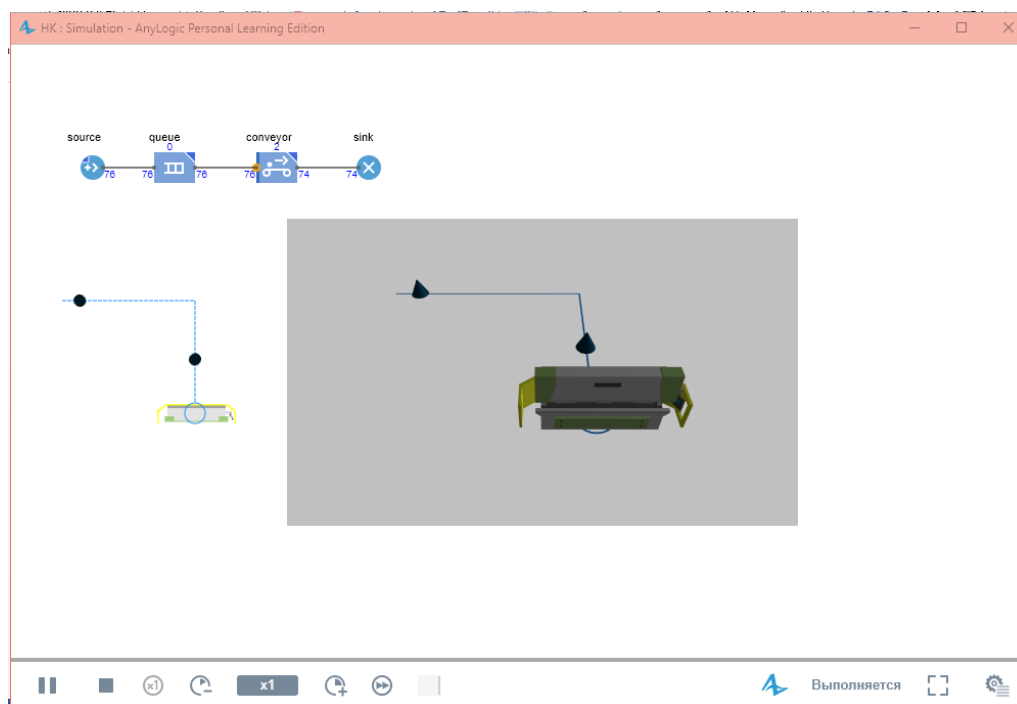


Рисунок 1 – Визуализации работы одномашинной лесопромышленной системы

Таким образом, разработанная модель позволяет осуществлять имитационное моделирование одномашинных систем массового обслуживания в различных условиях эксплуатации и выбирать оптимальные режимы работы.

С помощью построенной модели были проведены компьютерные эксперименты, которые позволили оценить эффективность работы исследуемой системы массового обслуживания, а также спланировать мероприятия по оптимизации работы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. М.: Мир, 1978. 418 с.
2. Каменнова М., Громов А., Ферапонтов М., Шматалюк А. Моделирование бизнеса. Методология ARIS. Практическое руководство. М.: «Весть-Метатехнология», «Серебряные нити», 2001. 327 с.
3. Кузнецов Ю. А., Перова В. И., Мичасова О. В. Работа с программным пакетом ITNINK. Учебно-методическое пособие. Нижний Новгород: Изд-во Нижегородского университета, 2005. 72 с.
4. Сидоренко В. Н. Системно-динамическое моделирование в среде POWERSIM: Справочник по интерфейсу и функциям. М.: МАКС-ПРЕСС, 2001. 159 с.
5. Ярыгин О. Н. Имитационное моделирование деятельности предприятия в Extend LT. Тольятти: ТГУ, 2012. 123 с.
6. Дубейковский В. И. Практика функционального моделирования с Allfusion Process Modeler 4.1. Где? Зачем? Как? М.: ДИАЛОГ-МИФИ, 2004. 464 с.
7. Борщев А. Как строить красивые и полезные модели сложных систем: материалы конф. «Имитационное Моделирование. Теория и Практика» ИММОД- 2013. Казань: Изд-во «Фэн» АН РТ, 2013.
8. Маликов Р. Ф. Практикум по имитационному моделированию сложных систем в среде AnyLogic 6. Уфа: Изд-во БГПУ, 2013. 296 с.
9. Климушев Н. К., Прудникова О. М. Моделирование технологических процессов лесопромышленного производства. Ухта: УГТУ, 2003. 76 с.
10. Хотянович А. И., Турлай И. В. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок и транспорта леса. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2015. 72 с.

УДК 630.36

Р.О. Короленя, доц., канд. техн. наук; студ. К.А. Гриневич
(БГТУ, г. Минск)

ТРАНСПОРТИРОВКА ДРЕВЕСИНЫ СОРТИМЕНТОВОЗАМИ: ГРАФ СОСТОЯНИЙ

По типу связей между пунктами заготовки древесины и пунктами ее потребления / переработки можно обозначить три основные схемы работы сортиментовозов: «*один к одному*», «*один ко многим*» и «*многие ко многим*» [1, 2].

Для схемы организации «**один к одному**» при транспортировке древесины возможен только один вариант организации маршрута перевозки – *маятниковый*. При данном варианте сортименты с одного погрузочного пункта или промежуточной площадки перевозятся одному потребителю [2].

Для схемы организации «**один ко многим**» возможны два варианта организации маршрутов перевозки: *веерный* и *маятниковый развозочный*. На *веерном* маршруте транспортировки с одного погрузочного пункта или одной промежуточной площадки сортименты последовательно перевозятся на разные разгрузочные площадки (различным потребителям) [2].

Для *маятникового развозочного* маршрута доставка с одного погрузочного пункта или одной промежуточной площадки осуществляется на несколько разгрузочных площадок (нескольким потребителям) за одну езду [2].

Для схемы организации «**многие ко многим**» возможны три варианта организации маршрутов транспортировки: *сборный*, *сборно-развозочный* и *кольцевой*. При работе по *сборному маршруту* сортименты с нескольких погрузочных площадок или промежуточных пунктов поставляются на одну разгрузочную площадку [2].

При *сборно-развозочном* маршруте сортиментовозы с нескольких погрузочных площадок транспортируют сортименты на несколько разгрузочных площадок за одну езду [2].

На *кольцевом маршруте* работы сортименты последовательно с разных погрузочных площадок поставляются на разные разгрузочные площадки. Каждая новая езда начинается с нового погрузочного пункта (промежуточной площадки) [2].

Выбор той или иной схемы поставок заготовленной древесины потребителям должен обеспечивать минимум транспортных затрат на поставку всего заявленного объема древесины и выдерживать норма-

тивные сроки поставок [3, 4]. В условиях ограниченного количества лесовозных транспортных средств, что характерно для предприятий лесного комплекса Республики Беларусь, соблюдение указанных требований напрямую связано с определением продолжительности транспортировки (транспортного процесса).

Транспортный процесс (циклический) можно рассматривать двояко – с точки зрения операций с лесовозными транспортными средствами и операций с сортиментами [5].

Совместное рассмотрение операций с сортиментами и сортиментовозами (рис. 1) показывает, что транспортный процесс является многоэлементным [6, 7, 8]. Основной его элемент – перемещение сортиментов (лесных грузов), все другие элементы подсистемы подчинены ему [6]. Обязательные элементы (рис. 1) – погрузка, перемещения и выгрузки сортиментов (элементы операции с грузом). Совокупности обязательных элементов отвечают за простой сортиментовозов под погрузкой, движение с грузом и простой под разгрузкой (операции с подвижным составом) [6].

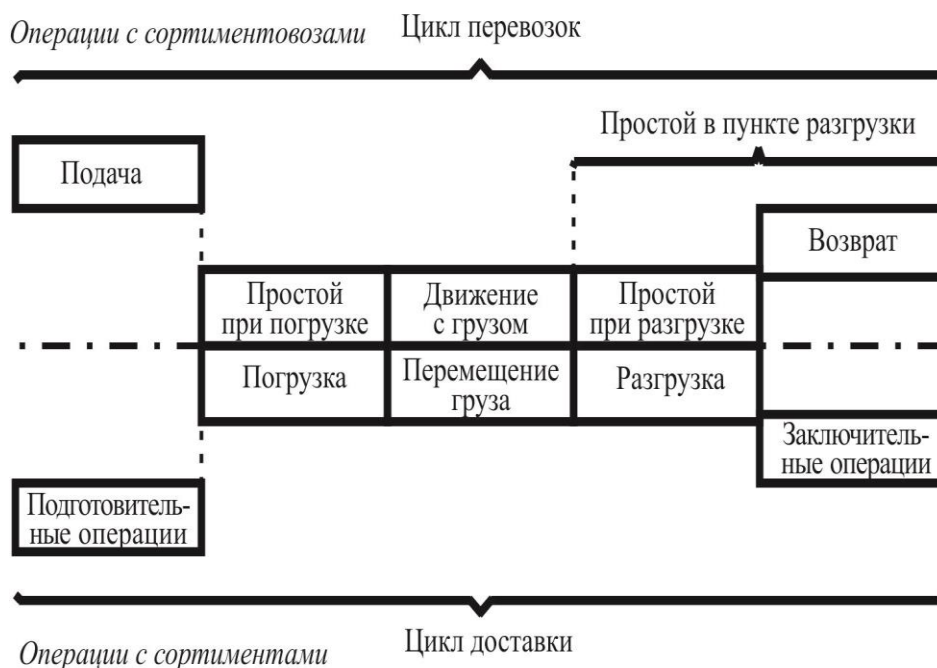


Рисунок 1 – Представление подсистемы «транспортировка»

Этим элементам операций с сортиментами и сортиментовозами, выполняемых совместно, предшествуют подготовительные элементы операций – накопление и формирование (сортировка) сортиментов в запасах (штабелях) и их подготовка к перевозке и с сортиментовозами – подача подвижного состава к месту погрузки. Если выгрузка груза характеризует окончание цикла перевозок, которое в практике норми-

рования транспортного процесса на автомобильном транспорте относится ко времени разгрузки, то цикл доставки сортиментов может еще продолжаться и включать ряд других операций, связанных с сортировкой и перемещением к месту складирования.

Перевозочный процесс, включающий операции с сортиментами, следует рассматривать как составную часть транспортного процесса. В нем находит отражение активная и пассивная роль подвижного состава. Первая проявляется в подаче подвижного состава под погрузку и движении с грузом, вторая связана с простоем под погрузкой и разгрузкой. Выполнение перевозок связано с нахождением транспортных средств в различных состояниях.

С учетом выделенных транспортно-технологических схем, а также вариантов организации процесса транспортировки, граф возможных состояний сортиментовоза в процессе эксплуатации, на котором состояния представлены прямоугольниками, а возможные переходы из состояния в состояния – стрелками, соединяющими соответствующие прямоугольники, можно сформировать, как показано на рисунке 2.

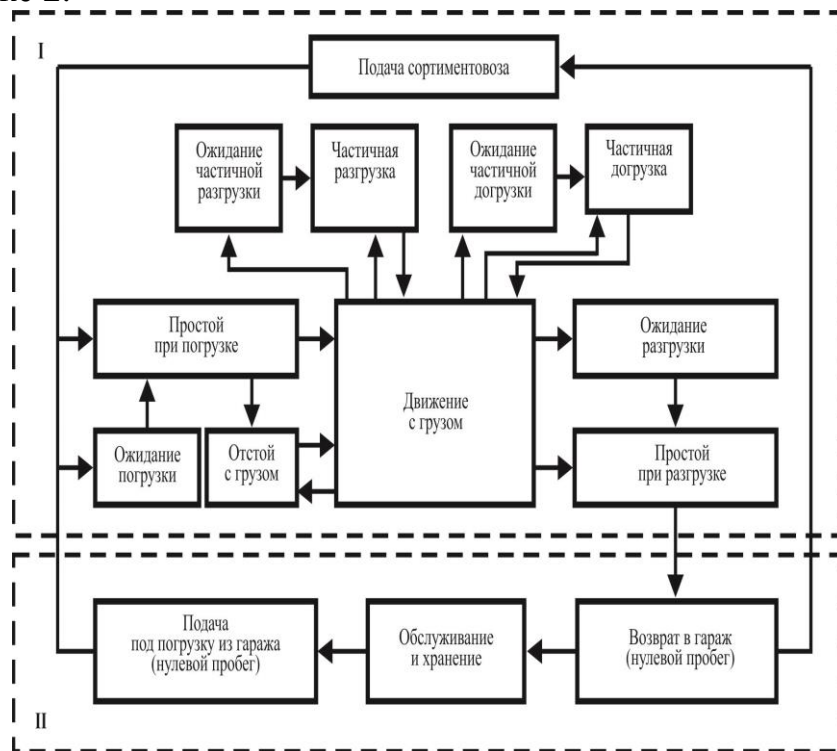


Рисунок 2 – Граф состояний сортиментовозов: I – элементы цикла транспортировки, II – дополнительные элементы, относящиеся к суточному (сменному) циклу

Необходимо отметить, что в общем случае, простои сортиментовозов в ожидании погрузки (разгрузки), при оформлении документов и простои по-

грузочно-разгрузочных средств в ожидании прибытия сортиментовозов имеют разную продолжительность и не совпадают во времени.

Проектирование оптимального процесса транспортировки сортиментов во многом определяет эффективность лесозаготовительного производства в целом. С учетом современного развития методик, средств и инструментов для моделирования процессов, состояний и поведения различных систем, для получения качественных моделей и имитационного моделирования необходима качественная формализация моделируемых объектов. В связи с чем, полученный граф состояний сортиментовозов работающих на вывозке древесины позволяет учитывать возможные варианты состояний сортиментовозов в суточном цикле их эксплуатации и позволяет получить более полное описание функционирования подсистемы транспортировка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Короленя Р. О. Моделирование работы сортиментовозов при транспортировке древесины: граф состояний // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 129–135. DOI: <https://doi.org/10.52065/2519-402X-2022-252-1-129-135>.

2. Короленя, Р. О. Результаты исследований временных характеристик движения сортиментовозов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 67–70.

3. Салминен Э. О. Лесопромышленная логистика : учебное пособие для студентов направлений 250400 «Технология лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств». Санкт-Петербург : СПбГЛТУ, 2012. 139 с.

4. Транспортные системы пути и перевозки лесопродукции: учеб. пособие в 3-х томах. / Ф.А. Павлов [и др.]. Арханг. гос. техн. ун-т., Архангельск, 2001. Т.1: Транспортные системы. 382 с.

5. Транспортные системы пути и перевозки лесопродукции: учеб. пособие в 3-х томах. / Ф.А. Павлов [и др.]. Арханг. гос. техн. ун-т., Архангельск, 2003. Т.3: Перевозки лесопродукции. 496 с.

6. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки. Киев: Вища школа. 1986. 447 с.

7. Аземша С.А., Скиркоцкий С. В., Сушко С. В. Автомобильные перевозки грузов и пассажиров. Практикум. Гомель: БелГУТ, 2009. 181 с.

8. Михальченко А. А., Парфенов Б. Б., Сафроненко А. А. Основы теории транспортных процессов и систем. Гомель: БелГУТ, 2017. 379 с.

УДК 630.3:519.6

А.П. Лащенко, доц., канд. техн. наук,
Р.О. Короленя, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

КЕЙС ПО ОПТИМАЛЬНОМУ РАСПРЕДЕЛЕНИЮ ПЕСЧАНО-ГРАВИЙНОЙ СМЕСИ ИЗ КАРЬЕРОВ К СТРОЯЩИМСЯ ЛЕСНЫМ АВТОМОБИЛЬНЫМ ДОРОГАМ

Проблемы выбора эффективной стратегии управления, принятия оптимальных решений, которые возникают при проектировании и организации реальных бизнес-процессов предприятий, можно сформулировать в виде производственных кейсов.

Под термином «Кейс» (от англ. «Case» – некий случай, обстоятельство) будем понимать формализованное описание ситуации или случая, которые используют для обучения, оценки и поиска наиболее эффективного и/или оперативного решения [1].

Широко используемым методом адаптации и проработки производственных кейсов является метод линейной оптимизации [2]. С помощью моделей линейной оптимизации рассматриваются задачи, целью которых является составление оптимальных планов. Речь может идти об оптимальных планах производства, продаж, закупок, перевозок, об оптимальном финансовом планировании, оптимальной организации рекламной кампании или об оптимальном плане инвестиционного портфеля фирмы [2, 3].

Широкие возможности для решения задач такого рода открывает интегрированная система *MathCad* [4, 5, 6]. Одним из основных преимуществ системы является то, что на сегодняшний день это единственная математическая система, в которой описание решения задач дается в стандартной форме математического описания формул, символов и знаков.

Рассмотрим решение одного из вариантов производственного кейса по оптимальному распределению гравийной смеси из карьеров к строящимся лесным автомобильным дорогам.

Этап 1. Анализ исходных данных.

Для строительства четырех лесных автомобильных дорог используется гравий из трех карьеров. Запасы гравия в каждом из карьеров соответственно равны 120, 280, и 160 усл. ед. Потребности в гравии для строительства каждой из дорог соответственно равны 130, 220, 140 и 70 усл. ед. Известны также тарифы перевозок 1 усл.

ед. гравия из каждого карьера к каждой строящейся дороге, которые заданы матрицей:

$$C = \begin{pmatrix} 1 & 7 & 9 & 5 \\ 4 & 2 & 6 & 8 \\ 3 & 8 & 5 & 2 \end{pmatrix} \quad (1)$$

Этап 2. Выделение основной проблемы, формализация.

Целевая функция – минимум затрат на перевозку. Критерий решения – оптимальный план перевозок в заданной системе ограничений.

Этап 3. Предложение концепции и методологии решения.

В качестве инструмента для решения задачи предлагается рассмотреть систему MathCad [4, 5, 6]. Листинг исходных данных и их формализация с использованием синтаксиса системы представлены на рисунке 1.

Карьеры	Автомобильные дороги				Запасы гравия
	ЛАД ₁	ЛАД ₂	ЛАД ₃	ЛАД ₄	
К ₁	1	7	9	5	120
К ₂	4	2	6	8	280
К ₃	3	8	5	2	160
Потребности в гравии	130	220	140	70	560


```

ORIGIN := 1
c := (1 7 9 5)
      (4 2 6 8)
      (3 8 5 2)
a := (120)
      (280)
      (160)
b := (130)
      (220)
      (140)
      (70)
sum a = 560 sum b = 560

D(x) := sum_{i=1}^3 sum_{k=1}^4 (c_{i,k} * x_{i,k})
x := (175 0 0 0)
      (5 110 10 0)
      (0 0 100 40)

```

Рисунок 1 – Листинг исходных данных и опорного плана

Этап 4. Решение кейса.

В соответствии с выбранной методикой решения, далее с использованием функции Minimize находится оптимальный план распределения песчано-гравийной смеси между карьерами и лесными автомобильными дорогами. Далее полученные значения переменных решения подставляются в целевую функцию, и определяется ее значение. Листинг решения кейса представлен на рисунке 2.

Given

$$\begin{array}{ll}
 x_{1,1} + x_{1,2} + x_{1,3} + x_{1,4} = a_1 & x_{1,1} + x_{2,1} + x_{3,1} = b_1 \\
 x_{2,1} + x_{2,2} + x_{2,3} + x_{2,4} = a_2 & x_{1,2} + x_{2,2} + x_{3,2} = b_2 \\
 x_{3,1} + x_{3,2} + x_{3,3} + x_{3,4} = a_3 & x_{1,3} + x_{2,3} + x_{3,3} = b_3 \\
 x \geq 0 & x_{1,4} + x_{2,4} + x_{3,4} = b_4
 \end{array}$$

$A := \text{Minimize}(D, x)$

$$A = \begin{pmatrix} 120 & 0 & 0 & 0 \\ 10 & 220 & 50 & 0 \\ 0 & 0 & 90 & 70 \end{pmatrix} \quad D(A) = 1.49 \times 10^3$$

Рисунок 2 – Блок ограничений и результаты решения

Этап 5. Моделирование различных ситуации на основе полученного решения и комплексный анализ последствий принятия той или иной управленческой стратегии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ситуационный анализ, или Анатомия Кейс-метода / Ю.П. Сурмин [и др]; под ред. Сурмина Ю.П. – Киев: Центр инноваций и развития, 2002. – 286 с.
2. Зайцев, М.Г. Методы оптимизации управления и принятия решений: примеры, задачи, кейсы: учебное пособие / М. Г. Зайцев, С. Е. Варюхин – 2-е изд., испр. – М.: Издательство «Дело» АНХ, 2008. – 664 с.
3. Акулич, И.Л. Математическое программирование в примерах и задачах / И.Л. Акулич – М.: Высшая школа, 1986. – 320 с.
4. Лащенко, А.П. Инженерно-экономические задачи на базе MathCad: практикум для студентов экономических спец. / А.П. Лащенко – Минск.: БГТУ, 2006. – 119 с.
5. Черняк, А.А. Математика для экономистов на базе MathcCad / А.А. Черняк [и др.]. – СПб.: БХВ-Петербург, 2003. – 496 с.
6. Лащенко, А.П. Решение задач математического программирования для студентов экономических специальностей / А.П. Лащенко, Р.О. Короленя // Проблемы и основные направления развития высшего технического образования : материалы XXIV науч.-метод. конф., Минск, 25–26 марта 2021 г. – Минск : БГТУ, 2021. – С.106–108.

УДК 625.7

А.П. Лащенко, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

УЧЕТ ФАКТОРА ВРЕМЕНИ ВОЗДЕЙСТВИЯ АВТОПОЕЗДОВ НА ПОКРЫТИЕ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Многолетняя практика строительства и эксплуатации асфальтобетонных покрытий, а также накопленные дорожной наукой данные показывают, что асфальтобетон является материалом, процессы деформации которого связаны со временем действия нагрузки, скоростью ее приложения, а величина напряжения зависит от скорости деформирования и величины деформации. Иначе говоря, асфальтобетон является реологическим материалом в условиях его эксплуатации, как в летнее, так и в зимнее время, когда процессы деформирования за счет охлаждения имеют малую скорость, сопоставимую со скоростью его вязкого деформирования.

В опубликованных работах Н.Н. Иванова, М.Б. Корсунского, В.Ф. Бабкова и других даны различные решения вопросов расчета слоистых дорожных одежд. Однако расчету дорожных одежд с учетом ползучести материалов уделено недостаточное внимание. Так, в 1961 году М. Б. Корсунский [1] указал пути учета ползучести материалов при расчете дорожных одежд. Исходя из предположений, что известна функциональная зависимость изменений величины модуля упругости от скорости нагружения и продолжительности действия нагрузки, он сумел свести задачу теории ползучести к известным задачам. Ползучесть материалов учтена И.А. Медниковым в 1969 г. при решении задачи об изгибе бесконечно длинной упруго-вязкой балки на упруго-вязком основании, причем, как указывает автор, при некоторых принятых допущениях можно свести данную задачу к расчету нежестких дорожных одежд с учетом времени действия нагрузки.

На основании экспериментально полученных кривых ползучести и сравнения решений дифференциальных уравнений, полученных на АВМ, нами был выбран и обоснован закон деформирования с учетом временной координаты для наиболее распространенных дорожно-строительных материалов. Полученные экспериментальным путем реологические параметры для асфальтобетонов и грунтов с различной степенью влажности позволили вывести масштабные уравнения для различных видов нагружения.

Все это позволило определить характерные деформативные свойства конструктивных элементов дорожных одежд и подтвердить обоснованность принятого закона деформирования.

Установлено, что для материалов, используемых в дорожном строительстве, с достаточной точностью для практических целей, может быть принята следующая зависимость:

$$En \frac{d\varepsilon}{dt} + H\varepsilon = n \frac{d\sigma}{dt} + \sigma, \quad (1)$$

где E – мгновенный модуль упругости, H – длительный модуль упругости, n – коэффициент времени релаксации, зависящий от упруго-вязких свойств материала и вида нагружения, σ – напряжение, ε – деформация.

Воздействие движущихся автомобилей выражается в приложении к поверхности покрытия вертикальных и горизонтальных нагрузок от передних и задних колес с интервалом, равным времени проезда автомобилем расстояния между его осями. Многоосные автомобили и автопоезда оказывают на покрытие многократное воздействие, равное числу осей в поезде. При этом интенсивность и частота воздействия различных осей поезда определяются соотношением давления на колеса и расстояния между ними.

Критическое состояние асфальтобетонного покрытия получается при низких скоростях автопоездов. Осциллограммы явно свидетельствуют о появлении запаздывающих деформаций в испытываемой дорожной конструкции. Данный процесс накопления деформаций наблюдался при воздействии на дорожную конструкцию лесовозного автопоезда МАЗ при скоростях движения до 13,89 м/с.

Нами теоретически и экспериментально установлено [2], что при скоростях движения трехосных автомобилей до 16,7 м/с необходимо последовательное воздействие колес считать, при расчете дорожных одежд на прочность, за единый процесс.

Вместе с этим более детальное изучение напряженно-деформированного состояния дорожных конструкций с учетом реологических свойств дорожно-строительных материалов позволит ввести в нормативные документы требования, предъявляемые к материалам с учетом поведения их в конструкциях в реальных условиях и при данном виде нагружения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Корсунский, М.Б. Деформации дорожных одежд и фактор времени. // Автомобильные дороги, 1961, №7, С. 25-27.
2. Лащенко, А.П. Определение деформаций слоистых систем с учетом реологических свойств материалов // Труды БГТУ, 2012, № 3: Лесная и деревообраб. пром-сть, С. 90-95.

УДК 630*

Е.А. Леонов, доц., канд. техн. наук;
В.В. Игнатенко, доц., канд. физ.-мат. наук (БГТУ, г. Минск);
Д.В. Клоков, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск)

ОЦЕНКА ПРИМЕНЕНИЯ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ТРЕЛЕВКИ ПО КРИТЕРИЮ УДЕЛЬНОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СЕБЕСТОИМОСТИ

В последние годы в Беларуси сложилась устойчивая тенденция к ежегодному увеличению расчетной лесосеки по всем видам рубок [1].

Традиционно лесосечные работы в нашей стране осуществляются по сортиментной технологии. При этом лесосеки с хорошей несущей способностью грунтов разрабатываются системами машин «бензиномоторная пила + погрузочно-транспортная машина» или «харвестер + форвардер». Труднодоступный лесосечный фонд осваивается, как правило, системой машин «бензиномоторная пила + трелевочный трактор с канатно-чokerной оснасткой».

Разработка труднодоступных лесосек по традиционной технологии с использованием на операции трелевки древесины тракторов с канатно-чokerной оснасткой имеет ряд недостатков, среди которых значительная трудоемкость производственных операций, тяжелые условия и низкая производительность труда, повышенная вероятность производственного травматизма [2–4].

Реализация разработанного способа разработки лесосеки в данных условиях подразумевает необходимость применения двухступенчатой трелевки древесины, при которой перемещение заготовленной древесины с труднодоступных участков лесосеки осуществляется трелевочным трактором с канатно-чokerной оснасткой, а при перемещении ее по грунтам с хорошей несущей способностью – погрузочно-транспортной машиной (ПТМ). В этой связи встает вопрос об особенностях ее применения в производственных условиях.

Сравнительная характеристика традиционной и двухступенчатой трелевки приведены на рисунках 1 и 2.

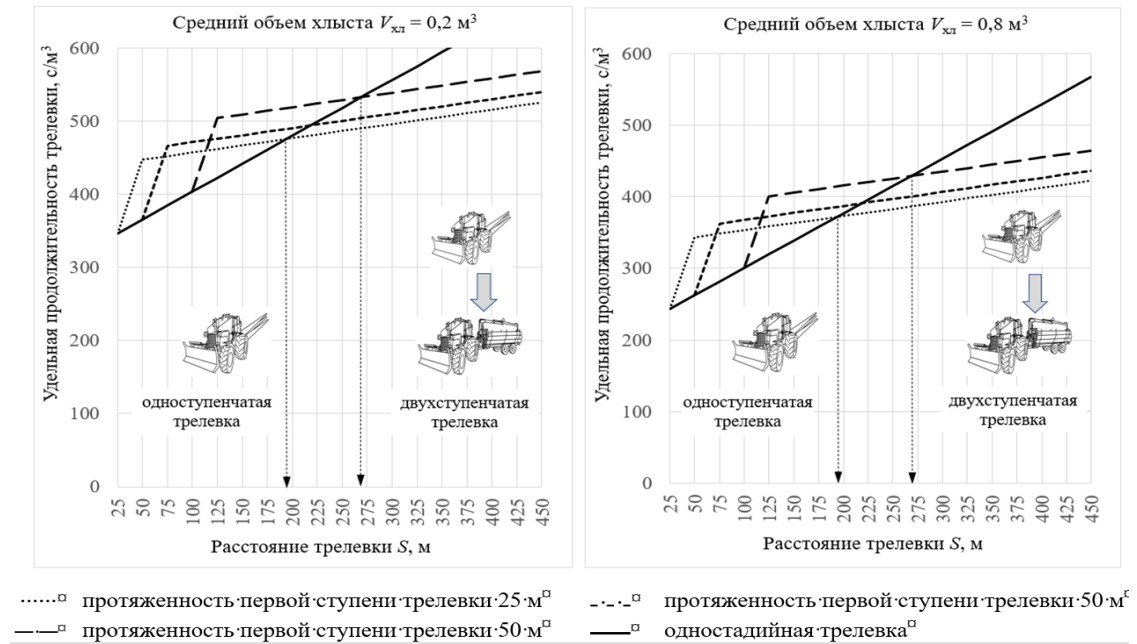


Рисунок 1 – Зависимость удельной продолжительности трелевки от расстояния трелевки и объема хлыста

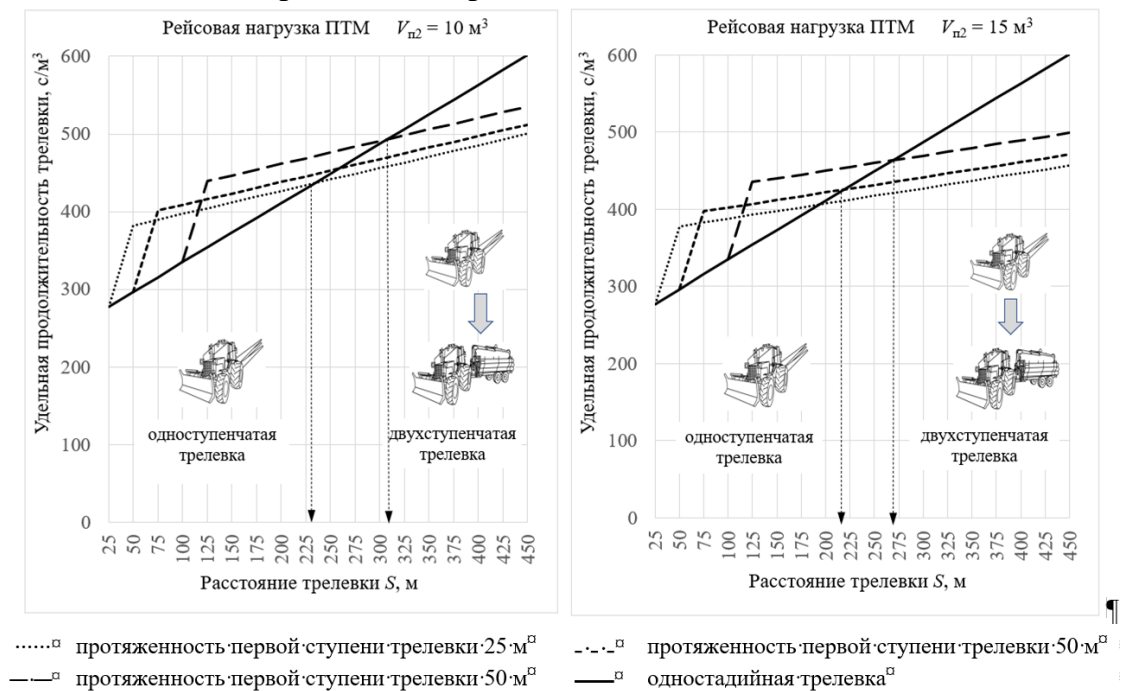


Рисунок 2 – Зависимость удельной продолжительности трелевки от расстояния трелевки и рейсовой нагрузки ПТМ

Целью дальнейших исследований является сравнительный анализ применения традиционной и двухступенчатой трелевки по критерию себестоимости заготовки 1 м^3 для рассматриваемых вариантов систем машин, включая определение следующих статей затрат: основная и допол-

нительная заработная плата основных рабочих; начисления на заработную плату; затраты на содержание и эксплуатацию оборудования; сырье и материалы; общепроизводственные расходы; общехозяйственные расходы.

На основании проведенного теоретического исследования установлено, что время, затрачиваемое на трелевку 1 м^3 древесины, зависит от среднего объема хлыста, расстояния трелевки и рейсовой нагрузки на трелевочный трактор и погрузочно-транспортную машину.

С увеличением среднего объема хлыста $V_{\text{хл}}$ с $0,2$ до $0,8 \text{ м}^3$ удельная продолжительность традиционной трелевки при использовании трактора ТТР-411 с канатно-чokerной оснасткой уменьшается на $15\text{--}30\%$. При использовании двухстадийной трелевки в зависимости от марки применяемой ПТМ (МПТ-461.1 или «Амкодор 2661-01») данный параметр уменьшается на $18\text{--}26\%$. При этом одностадийная трелевка трактором ТТР-411 предпочтительна при перемещении древесины на расстояние до 190 м , двухстадийная с применением ТТР-411 и МПТ-461.1 – при перемещении древесины на расстояние свыше 260 м .

С увеличением рейсовой нагрузки на ПТМ $V_{\text{п2}}$ с 10 до 15 м^3 при постоянном среднем объеме хлыста $V_{\text{хл}} = 0,4 \text{ м}^3$ удельная продолжительность двухстадийной трелевки уменьшается на $1\text{--}9\%$.

При использовании погрузочно-транспортной машины МПТ-461.1 грузоподъемностью $V_{\text{п2}} = 10 \text{ м}^3$ двухступенчатая трелевка становится эффективной при перемещении древесины на расстояние свыше 310 м .

С увеличением грузоподъемности погрузочно-транспортной машины до $V_{\text{п2}} = 15 \text{ м}^3$ (применяется «Амкодор 2661-01») эффективность двухступенчатой трелевки обеспечивается при перемещении древесины на расстояние свыше 260 м .

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонов Е.А., Клоков Д.В. Технология лесозаготовок и переработки древесины. Минск: БГТУ, 2018. 231 с.
2. Способ разработки лесосеки: пат. 23001 Респ. Беларусь, МПК А01G23/02 / В.А. Симанович, Е.А. Леонов, Д.А. Кононович, С.Е. Арико, С.П. Мохов, С.А. Голякевич, А.А. Духовник; заявитель Белорус. гос. техн. ун-т. – № а 20180500; заявл. 04.12.2018; опубл. 27.03.2020.
3. Федоренчик А.С., Клоков Д.В., Леонов Е.А. Энергетическое использование древесной биомассы. Практикум. Минск: БГТУ, 2015. 212 с.
4. Леонов Е.А., Клоков Д.В., Исаченков В.С. Применение двухступенчатой трелевки в условиях Республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 202–207.

УДК 630*531

А.А. Духовник, асп.;
С.Е. Арико, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ НА ПАРАМЕТРЫ КРОНЫ

Наибольшее значение по параметрам и запасам стволовой древесины среди хвойных пород имеет сосна обыкновенная. В Беларуси сосна обыкновенная является основной лесообразующей породой, на долю которой приходится более 60 % запаса стволовой древесины. Основными характеристиками насаждений древостоя является их породный состав и густота. За последние 60 лет лесистость республики выросла почти вдвое и достигла максимального значения за более чем столетний период, составив 40,1 % [1].

Целью теоретических исследований является сравнительный анализ влияния таксационных показателей сосны обыкновенной на параметры кроны.

Размер кроны определяет, каким образом формируется жизненное пространство дерева, его рост и развитие. Развитие кроны в ширину у деревьев обычно связано с их ростом в высоту. Прирост кроны в ширину у большинства древесных пород отстает от прироста в высоту, но продолжается и после прекращения прироста в высоту.

Объектами анализа были выбраны сосновые насаждения разных классов бонитета и возраста. Классы бонитета, как правило, устанавливают по происхождению древостоя и возрасту по бонитированной шкале М. М. Орлова [2]. В смешанных насаждениях класс бонитета устанавливают по основной (преобладающей) породе, а в сложных – по главной породе основного яруса. Нами были выбраны I, III и V классы бонитета. Таксационные параметры деревьев были взяты среднестатистические.

Анализ состояния сосняков проводились по таким показателям, как: диаметр ствола на уровне груди ($d_{1,3}$) и высота дерева (h). При помощи этих данных производились расчёты для нахождения параметров кроны, а именно длины кроны растущего дерева (l_k), диаметра кроны (d_k) и по итогу объёма кроны дерева ($V_{кр}$).

Взаимосвязь размеров крон деревьев с высотами и диаметрами стволов на высоте груди при умеренных рекреационных нагрузках насаждений рассчитывается:

$$l_{dk} = m_0 + m_1 d_{1,3} + m_2 h + m_3 d_{1,3} h, \quad (1)$$

а длины крон l_k , в свою очередь, определяются

$$l_k = r_0 + r_1 d_{1,3} + r_2 h + r_3 d_{1,3} h, \quad (2)$$

где m_0, m_1, m_2, m_3 и r_0, r_1, r_2, r_3 – параметры, зависящие от породы [3]; h – высота деревьев, м; $d_{1,3}$ – диаметр стволов на уровне груди, см.

Объем кроны определяется по формуле [2]

$$V_{кр} = \frac{\pi l_k}{16} \left[\frac{d_{к1}^2 + d_{к3}^2}{3} + \frac{(d_{к1} + d_{к2})^2 + (d_{к2} + d_{к3})^2}{4} \right]. \quad (3)$$

Статистический анализ данных выполнен с использованием программы Microsoft Excel и приведен в таблице для насаждений, подлежащих рубке ухода.

Таблица 1 – Основные таксационные показатели древостоя

1 класс бонитета				
$d_{1,3}$, см	h , м	$l_{кр}$, м	$d_{кр}$, м	$V_{кр}$, м ³
16	20,05	6,32	2,51	14,98
20	23,3	6,88	2,83	20,71
24	25,3	7,48	3,16	28,12
3 класс бонитета				
$d_{1,3}$, см	h , м	$l_{кр}$, м	$d_{кр}$, м	$V_{кр}$, м ³
16	16,3	7,24	2,75	20,54
20	18,9	8,27	3,18	31,34
24	20,9	9,17	3,58	44,13
5 класс бонитета				
$d_{1,3}$, см	h , м	$l_{кр}$, м	$d_{кр}$, м	$V_{кр}$, м ³
16	12,35	8,22	2,99	27,71
20	14,05	9,79	3,56	46,59
24	15,3	11,31	4,12	71,78

На рисунке представлена зависимость объема кроны от таксационных показателей сосны обыкновенной для разных классов бонитета. В результате анализа таксационных показателей деревьев различных классов бонитета выявлены следующие закономерности: длина кроны деревьев 5 класса бонитета больше на 23,11–33,86 %, чем у деревьев 1 класса бонитета, средний диаметр кроны больше на 16,05–23,30 %, объем кроны – на 45,94–60,83 %. Из анализа видно, что уменьшение бонитета больше всего влияет на объем кроны, где происходит значительное ее увеличение.

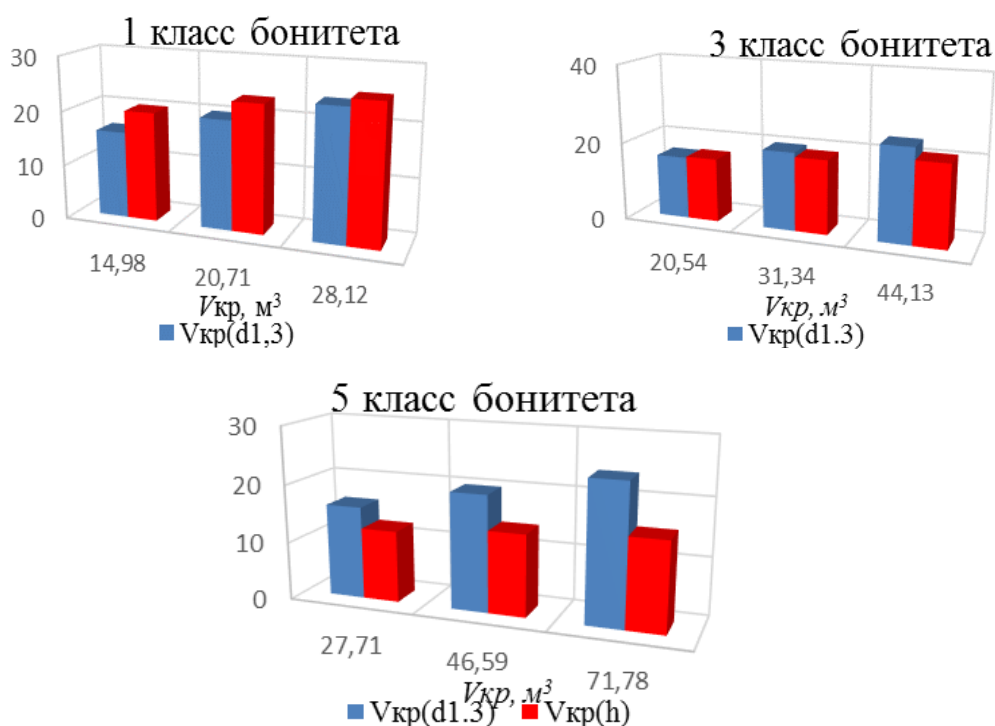


Рисунок 1 – Зависимость объема кроны от таксационных показателей сосны обыкновенной для разных классов бонитета

По результатам проведенного анализа можно сделать вывод о том, что значительный объем кроны приведет к существенному снижению производительности труда на валке деревьев и обрезке сучьев, когда появляется необходимость в ручных операциях. Данное направление является актуальным и требует дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Министерство лесного хозяйства [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.mlh.by/press-service/news/7764/>. – дата доступа: 01.02.2022
2. Севко, О.А. Ландшафтная таксация с основами парколесоустройства : учеб.-метод. пособие к практическим занятиям для студентов специальности 1-75 01 02 «Садово-парковое строительство» / О. А. Севко. – Минск : БГТУ, 2012. – 107 с.
3. Гальперин, М.М. Ландшафтная таксация лесопарковых насаждений / М. М. Гальперин. – Свердловск: ГПТУ, 1971. – 88 с.

УДК 625.72

С.А. Чудинов, зав. кафедрой, канд. техн. наук; А.О. Верхоляк
(УГЛТУ, г. Екатеринбург)

ЛАНДШАФТНОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Строительство автомобильной дороги является долгосрочным проектом, их сооружают на долгие годы, поэтому основные черты остаются неизменными. Дорога, как элемент современного ландшафта должна удовлетворять не только техническим, но и эстетическим требованиям. Ландшафтным проектированием, в рамках дорожного строительства, называется проложение автомобильных дорог на местности, которое обеспечивает плавное сопряжение между собой элементов трассы и их гармоничное сочетание с окружающим ландшафтом. К элементам дорожного ландшафта обычно относят: формы рельефа местности, растительный покров, водные и заболоченные поверхности, сельскохозяйственные угодья, лесные разработки и горные выработки, населенные пункты и промышленные предприятия и т. д.

Ландшафтное проектирование автомобильных дорог решает следующие задачи [1]:

- 1) уменьшение негативного воздействия дороги на окружающую среду, сохранение исторических и культурных памятников, ценных сельскохозяйственных угодий;
- 2) облагораживание природного ландшафта в пределах полосы, видимой с дороги, и принятие мер против порчи придорожной полосы в процессе службы дороги;
- 3) аккуратное вписывание дороги и всех ее элементов в ландшафт местности для того, чтобы предотвратить нарушение закономерностей природного ландшафта;
- 4) исключение оптического искажения, приводящего к восприятию водителем отдельных участков в перспективе как необоснованно крутых изломов трассы;
- 5) обеспечение плавного сочетания между собой элементов трассы для безопасности движения автомобилей с высокими скоростями;
- 6) обеспечение ясности в направлении дороги на достаточно больших расстояниях, чтобы при движении водитель не мог встретиться с неожиданными для себя дорожными условиями.

Три первые задачи преследуют цель сочетания дороги и придорожной полосы, без которой также не может быть построена дорога с высокими транспортно-эксплуатационными характеристиками, - внешняя гармо-

ничность трассы. Три последние нацелены на обеспечение складности и психологической ясности дороги для водителя. Комплекс их требований определяет внутреннюю гармоничность трассы (рисунок 1).



Рисунок 1 – Пример гармоничного сочетания автомобильной дороги с окружающим ландшафтом

Основными требованиями при ландшафтном проектировании, которые обеспечивают режимы пользования объектами, являются функции объектов, надёжность конструкций, экономические показатели, эстетика. [2]:

- функциональные показатели предназначены для обеспечения режимов пользования объектом, выполнение его основного назначения (прогулки и отдых, занятия спортом и т. п.);

- конструктивные показатели должны гарантировать надёжность конструктивных элементов, прочность дорожных покрытий и сооружений, устойчивость и жизнеспособность древесных и травянистых растений к условиям антропогенной среды, водо- и воздухопроницаемость почвогрунтов, благоприятный инсоляционный режим территории, проветриваемость и т. п.;

- эстетические показатели играют главную роль в социальных условиях пребывания человека на объекте, его культурных и духовных запросах. Дополнительно данные показатели обеспечивают архитектурно-художественную выразительность компонентов территории и отдельных участков и деталей;

- экономические показатели, включают в себя минимальные материальные и трудовые затраты при наилучшем результате.

Немаловажную роль в ландшафтном проектировании играют материалы, из которых изготовлены дороги. Одним из таких совре-

менных материалов является цветной асфальтобетон. Его применяют для устройства разделительных полос, обозначения пешеходных переходов, для покрытий пешеходных дорожек, аллей в парках и т. д. [3]. Цвет придаёт поверхности эстетику и дополняет ландшафт.

Кроме того, большое значение в ландшафтном проектировании имеют зелёные насаждения – совокупность древесных, кустарниковых и травянистых растений на определённой территории. Они являются неотъемлемой частью ландшафтного проектирования [4].

Стоит отметить особое значение ландшафтного проектирования автомобильных дорог в условиях города. С этой целью проводится пространственный анализ дороги и окружающей ее территории [5]. В процессе проектирования важным является, чтобы дорога приобрела требуемый вид в перспективе, т. е. достигла гармоничного сочетания с ландшафтом, окружающей средой.

ЛИТЕРАТУРА

1. ВСН 18-84 Указания по архитектурно-ландшафтному проектированию автомобильных дорог. М.: Транспорт, 1985. 35 с.
2. Архитектура транспортных сооружений : учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-70 03 01 «Автомобильные дороги» / А. С. Сардаров. – Минск : БНТУ, 2013. – 20 с.
3. Чупров Е.Е. Применение цветного асфальтобетона в дорожном строительстве/ Е.Е. Чупров, С.А. Чудинов // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: матер. XV Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2019. С.241-243.
4. Чудинов С.А. Обустройство разделительной полосы автомобильных дорог зелеными насаждениями / С.А. Чудинов, А.В. Кочеткова // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологические проблемы лесного сектора экономики: матер. XII Междунар. науч.-техн. конф. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. С.118-120.
5. Шаламова Е.Н. Внедрение инновационных технологий, конструкций и материалов в дорожном хозяйстве / Е.Н. Шаламова, С.А. Чудинов // Фундаментальные и прикладные исследования молодых ученых: сборник материалов III Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых 07-08 февраля 2019 г. – Омск, СибАДИ 2019. С.245-248.

УДК: 625. 861; 666.973.2.00.2

К.С. Досалиев, PhD, доц.; А.Б. Тоқсан, магистрант,
А.Е. Асылбек, магистрант
(ЮКУ им. М.Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан)

ШЛАК КАК ИСХОДНЫЙ МЕСТНЫЙ МАТЕРИАЛ В ДОРОЖНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Во всем мире при строительстве и реконструкции автомобильных дорог год за годом увеличивается объемы использования твердых бытовых отходов, как шлаки фосфорного производства и цветной металлургии. Данные отходы можно использовать как и в нижнем слое, так и в верхнем основании автомобильной дороги.

Практическое применение решаемых вопросов требует комплексного и рационального использования вторичных материально-сырьевых ресурсов и отходов различных производств, которые должны занимать определенное место в сырьевом балансе промышленности региона строительства автомобильной дороги.

К настоящему времени доля их использования составляет около 3-5%, вместо расчетных значений в общем показателе 25-30% в объеме сырья. Поэтому, в период индустриально-инновационного развития национального хозяйства, вопросы рационального и комплексного использования отходов различных отраслей, с улучшением качества подстилающего слоя и полотна автомобильных дорог, имеют важное практическое значение [1].

Земляное полотно - один из основных элементов автомобильной дороги, от его устойчивости, прочности и долговечности которого зависит и работоспособность дорожной одежды. Воздействие на дорожное покрытие со стороны нижележащих слоёв земляного полотна, вызываемое изменениями водно-теплового режима работы всей конструкции, который в свою очередь приводит к разрушению всей дорожной одежды автомобильной дороги. Для повышения долговечности и прочности дорожной одежды, необходимо спрогнозировать влажность грунта в основании земляного полотна [2].

Исследование по применению шлаковых материалов в дорожном строительстве, как показано авторов работы, литой шлак фосфорного производства и доменные шлаки цветной металлургии, которые в меньшей степени склонны к разным видам распада от водно-теплового воздействия окружающей среды.

Асфальтобетон с различными шлаковыми материалами, так же, как и асфальтобетон из традиционных материалов, разделяется на щебеночный (мелкозернистый, крупнозернистый) и песчаный. Как минеральная часть в щебеночном асфальтобетоне присутствует шлаковый щебень, песок (природный или шлаковый) и минеральный порошок. В песчаном асфальтобетоне, в основе минеральной части, присутствуют шлаковые, шлакопемзовые пески и гранулированные шлаки. Для приготовления асфальтобетона, с использованием шлаковых материалов, используются битумы, которые отвечают требованиям ГОСТ. В зависимости от температуры укладки асфальтобетона со шлаковыми материалами, смеси бывают горячими и холодными [3].

Взаимодействие битума со шлаковым заполнителем приводит к реализации физических, механических, химических, электростатических и диффузионных процессов, в результате адгезионные связи на границе битум–минеральный материал, становятся прочными и стойкими к влиянию погодно-климатических факторов, как в момент объединения, так и во времени. Характер поверхности шлакового щебня, вязкость битума и его силы взаимодействия с минеральным материалом обеспечивают асфальтобетону высокие показатели угла внутреннего трения φ (от 40° до 50°), что превышает значение для асфальтобетона – приготовленного с использованием гранитного щебня (от 33° до 41°).

Также, установлена зависимость показателей битумоемкости от структурно-текстурных признаков шлакового щебня: наибольшей битумоемкостью обладают шлаки пемзообразного строения с пористостью 69 %, затем шлаки капиллярно- пористого строения с пористостью 37 %, наименьшей битумоемкостью характеризуются шлаки с пористостью до 14 %.

Асфальтобетон со шлаковыми материалами имеет большее значение остаточной пористости и, соответственно, больший показатель водонасыщения, чем аналогичные составы на традиционных (гранитных) минеральных материалах. Причем, это следует рассматривать не как недостаток, а как особенность этого вида асфальтобетона. Показатель водонасыщения, также как и битумоемкость, зависит от открытой пористости материала. Сравнивая асфальтобетон со шлаковыми материалами с высокопористым асфальтобетоном из природных минеральных материалов, пришли к выводу о недостаточной стойкости их к действию воды, а также циклам замораживания – оттаивания. Но наблюдения за устроенными покрытиями из асфальтобетона со шлаковыми материалами и исследования, показали, что покрытие имеет

высокую морозостойкость. Это объясняется особенностью пористости асфальтобетона из традиционных минеральных материалов и асфальтобетона со шлаковыми материалами. В последнем остаточная пористость, в основном, представлена замкнутыми порами. Исследования свойств песчаного асфальтобетона на основе шлакопемзового песка позволили установить, что закрытая пористость создает жесткую структуру материала, коэффициент линейного расширения которого в 1,5 раза ниже, чем в асфальтобетоне из традиционных материалов. Это приводит к понижению температурного напряжения при резких изменениях температуры, и повышению морозостойкости и, следовательно, долговечности покрытий [4].

Особенностью асфальтобетонных покрытий со шлаковыми материалами, в сравнении с традиционными – есть более длительный процесс их формирования. Установлено, что формирование покрытий из асфальтобетонных смесей со шлаковыми материалами происходит не сразу, а продолжается некоторое время. При интенсивности движения более 1 000 авт./сутки, формирование асфальтобетона на шлаковом песке заканчивается через 1–1,5 года, на гранулированных шлаках – через 2–5 лет с момента строительства. При этом, покрытия уже в начальной стадии эксплуатации имеют высокую сдвигоустойчивость и на них не наблюдается образование колеи и наплывов. В процессе эксплуатации покрытия, при стабилизации структуры асфальтобетона, происходит уменьшение объема пор, увеличение плотности асфальтобетона, увеличение значения угла внутреннего трения. Наибольший прирост наблюдается в первый год, в последующие годы угол внутреннего трения практически не изменяется. Значение же внутреннего сцепления в асфальтобетоне со шлаковыми материалами неуклонно возрастает в результате укрепления коагуляционных структурных связей и необратимых процессов, которые происходят в битумной пленке [3].

При изучении асфальтобетона с гранулированными шлаками и шлакопемзовыми песками, установлены особенности приготовления, укладки и уплотнения асфальтобетона со шлаковыми материалами. Так, на основе масштабных исследований установлено, что температурный режим приготовления таких смесей, находится в пределах 110–130 °С, укладка в покрытие смесей на вязких битумах возможна при температуре 70–80 °С, а температура уплотнения находится в диапазоне 50–70 °С. Таким образом, асфальтобетон со шлаковыми материалами занимает промежуточное положение между горячим и холодным типом асфальтобетона [4].

В итоге, заполнитель, в состав которого входит шлак сталеплавильного производства, благодаря своим физическим и химическим свойствам, – представляет собой на 100 % переработанный продукт, обладающий большим потенциалом в качестве замены природных заполнителей в дорожном строительстве. В большинстве работ, с использованием заполнителей из шлака сталеплавильного производства, сообщается, что асфальтобетонные смеси с его использованием, имеют более высокую пористость, адгезию с вяжущим, благодаря структуре поверхности и химическому составу, благоприятной форме частиц. Высокая поронепрерывность заполнителей из шлака сталеплавильного производства может повысить водонепроницаемость в асфальтобетонных смесях и улучшить сопротивление скольжению и аквапланированию, а адгезия с битумом может решить проблему проникания влаги в нижележащие слои дорожной одежды в связи с повреждением покрытия. Эти свойства способствуют повышению качества асфальтобетонных смесей и покрытий с их использованием, и уровню безопасности дорожного движения. Проведенные исследования также предполагают, что асфальтобетонные смеси, включающие заполнители из шлаков сталеплавильного производства, также могут повысить устойчивость к колееобразованию и трещинообразованию.

С экономической точки зрения, использование шлака сталеплавильного производства, в качестве заполнителя в дорожном строительстве, может снизить затраты на добычу и переработку природных минеральных материалов. Сталеплавильная промышленность также может снизить стоимость шлаков, предназначенных для переработки и утилизации огромного количества запасов шлака. В то время, как срок службы дорожного полотна может быть увеличен, расходы на техническое обслуживание покрытия могут также быть снижены, таким образом обеспечивая дополнительные средства для других проектов по разработке. Что касается влияния на сохранение окружающей среды, использование материалов из шлака сталеплавильного производства может по-разному непосредственно сократить как зависимость от природных заполнителей, так и количество проектов по добыче сырья. С другой стороны, включение шлака сталеплавильного производства в проекты дорожного строительства, может уменьшить площадь, которая используется для захоронения отходов [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Досалиев К.С. Исследование влияния структуры автомобильных дорог «земляное покрытие-асфальтобетон» на безопасность жизнедеятельности при эксплуатации дис. на соискание степени доктора

философии: 6D073100 – Шымкент: Южно-Казахстанский государственный университет имени М.Ауэзова, 2018. -142 с.

2. Лекаревич С.С. Обоснование возможности крупнотоннажного использования золошлаковых материалов на объектах дорожного строительства г. Омска. – Омск: Ассоциация содействия развитию промышленного кластера по использованию и переработке золошлаковых материалов, 2017. – 46 с.

3. Апталаев М.Н., Жалко М.Н. Влияние водно-теплового режима основания автомобильной дороги на состояние дорожной одежды // Интернет-журнал «Транспортные сооружения». – 2016. - Т. 3, №4. – С. 1-12.

4. Применение порошковых отходов промышленности в асфальтобетоне: Обзорная инф. ЦБНТИ Минавтодора РСФСР. Автомобильные дороги. -М.: Минавтодор, 1990. - Вып.7. -56 с.

5. Котляровский А.А. Модифицированный дорожный асфальтобетон с использованием отходов производства поликапроамидов и абразивов: дис. канд. техн. наук: 05.23.05. – Волгоград: Волгоградский государственный архитектурно-строительный университет, 2007. -139 с.

6. Иванов Е.В. Обоснование применения золошлаковых смесей для строительства земляного полотна с учетом особенностей водно-теплового режима. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11. – Омск: Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия, 2014. - 165 с.

УДК: 625. 861; 666.973.2.00.2

К.С. Досалиев PhD, доц.; А.Б. Тоқсан магистрант;
А.Е. Асылбек магистрант
(ЮКУ им. М.Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан)

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ШЛАКОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ДОРОЖНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

В зависимости от качества перерабатываемого фосфорсодержащего сырья в производстве желтого фосфора образуется от 9 до 13 т электротермофосфорного шлака с плотностью 2,6-3,1 т/см³ на 1 тонну готовой продукции в гранулированном или литом состоянии в прямых [1, 2].

Гранулированный электротермофосфорный шлак получают путем подачи вытекающего огненно-жидкого шлака после руднотермической печи по желобу в поток воды, в котором соотношение

вода : шлак составляет 20:1. Количество заскладированного гранулированного электротермофосфорного шлака составляет около 245 тыс.т. Примерный гранулометрический состав шлака: менее 1 мм - $24\pm 10\%$, 1-2 мм - $45\pm 10\%$, 2-4 мм - $28\pm 10\%$ и более 4 мм $3,5\pm 10\%$. Насыпная масса гранулированного шлака колеблется в пределах $0,6-1,3 \text{ т/м}^3$. Вид электротермофосфорного шлака показан на рисунке 1.



Рисунок 1 – Внешний вид гранулированного электротермофосфорного шлака

Угол естественного откоса гранулированного электротермофосфорного шлака находится в пределах 28° , а насыпная плотность составляет 1175 кг/м^3 .

Усредненный гранулометрический состав гранулированного электротермофосфорного шлака содержит следующий фракционный состав, приведенный в таблице 1.

Таблица 1 – Усредненный фракционный состав гранулированного электротермофосфорного шлака

Размер фракций, мм	2-8	1-2	1-0,5	0,1-0,5	менее 0,1
Содержание в %	42,6	36,5	18,6	1,7	0,6

Общий вид гранулированного электротермофосфорного шлака и его химический состав установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDXJED-2201 (JEOL, Япония) и показан на рисунке 2.

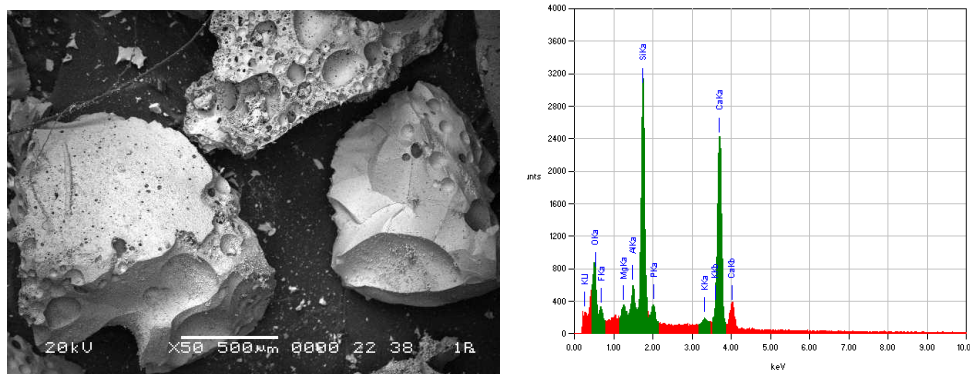


Рисунок 2 – Общий вид гранулированного электротермофосфорного шлака, увеличение в 50 раз

В таблице 2 приведен химический состав гранулированного электротермофосфорного шлака [94, с. 32-38, 95, с. 27-30].

Таблица 2 – Химический состав электротермофосфорного шлака

Element	(keV) mass%	Error%	At%	Compound mass%	K
O K *	0,525	34,40	0,53	49,45	23,6736
F K *	0,677	9,65	0,46	11,68	1,9675
Mg K	1,253	1,39	0,12	1,31	1,0601
Al K	1,486	2,65	0,10	2,26	2,4796
Si K	1,739	20,68	0,10	16,93	23,0456
P K *	2,013	2,63	0,13	1,95	3,2191
K K *	3,312	0,67	0,11	0,40	1,0252
Ca K	3,690	27,91	0,13	16,01	43,5294
Total		100,00	100,00		
O *0.000	37,12	0,00	0,00	0,00	0,0000
F K *0,677	12,96	0,62	14,45 F	12,96	2,5777
Mg K 1,253	1,26	0,18	3,13 MgO	2,10	1,3888
Al K 1,486	2,40	0,18	2,68 Al ₂ O ₃	4,54	3,2487
Si K 1,739	18,58	0,18	39,83 SiO ₂	39,75	30,1935
P K *2,013	2,31	0,27	2,24 P ₂ O ₅	5,28	4,2176
K K *3,312	0,60	0,12	0,46K ₂ O	0,72	1,3431
Ca K 3,690	24,76	0,17	37,20 CaO	34,65	57,0306
Total	100,00		100,00	100,00	

Химический анализ электротермофосфорного гранулированного шлака полученного на Жамбылском филиале ТОО «Казфосфат» (НДФЗ) и использованного в ходе исследований приведен в таблице 3 [3].

Таблица 3 – Химический состав электротермофосфорного шлака текущего образования, январь 2021 г.

Дата	Шлак, %						
	MgO,	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	CaO,	Fe ₂ O ₃ ,	М.К
1	2,90	3,96	40,59	0,89	41,58	0,37	0,93
2	2,87	3,98	40,67	0,93	43,98	0,37	0,94
3	2,84	3,96	40,48	0,99	44,02	0,35	0,93
4	2,80	3,99	40,82	0,85	44,38	0,43	0,93
5	2,83	3,96	40,78	0,88	44,16	0,35	0,93
6	2,80	3,96	40,82	0,77	44,39	0,42	0,93
7	2,80	3,98	40,52	0,72	44,34	0,31	0,93
8	2,75	3,96	40,64	0,67	44,00	0,36	0,94
9	2,69	3,99	40,68	0,65	44,64	0,33	0,92
10	2,65	3,96	40,61	0,83	44,47	0,31	0,93
11	2,59	3,95	40,55	0,97	44,58	0,32	0,93
12	2,59	3,98	40,87	0,88	44,86	0,27	0,93
13	2,55	3,9	40,87	0,99	44,46	0,31	0,94
14	2,59	3,97	40,80	0,71	44,62	0,34	0,93
15	2,56	3,95	40,76	0,74	44,57	0,31	0,93
16	2,46	3,95	40,74	0,80	44,66	0,31	0,93
17	2,51	3,96	40,78	0,86	44,71	0,41	0,93
18	2,64	3,96	40,58	0,95	44,43	0,42	0,93

Литой электротермофосфорный шлак получают траншейным способом, при котором огненно-жидкий шлак, образовавшийся в руднотермической печи, шлаковозами вывозят на отдельную площадку и выливают в 3-х секционные траншеи, где он остывает. Остывший шлак разрабатывают экскаватором и дробят с рассевом на фракции 5-10; 10-20; 20-40 и 40-70 мм [3]. Количество закладированного литого электротермофосфорного шлака составляет более 8 млн. т.

Химический состав электротермофосфорного шлака зависит от химического состава исходного сырья и технологического решения получения фосфора. Количество стеклофазы в гранулированных шлаках достигает 97-98%, а в литом до 92%.

Усредненный гранулометрический состав представленной пробы литого электротермофосфорного шлака содержит следующий фракционный состав, приведенный в таблице 4, а его общий вид представлен на рисунке 3.

Таблица 4 – Усредненный гранулометрический состав литого электротермофосфорного шлака

Размер фракций, мм	40-80	20-40	1-20	менее 0,5
Содержание в %	39,3	48,8	11,8	0,1



Рисунок 3 – Общий вид литого электротермофосфорного шлака

Общий вид литого электротермофосфорного шлака при увеличении в 100 раз и его химический состав установлен с помощью сканирующего электронного микроскопа JSM-5610 LV с системой химического анализа EDXJED-2201 (JEOL, Япония) и показан на рисунке 4.

Угол естественного откоса литого электротермофосфорного шлака составляет 31° .

Насыпная плотность литого электротермофосфорного шлака составляет 1220 кг/м^3 .

В таблице 5 приведен химический состав литого электротермофосфорного шлака [3].

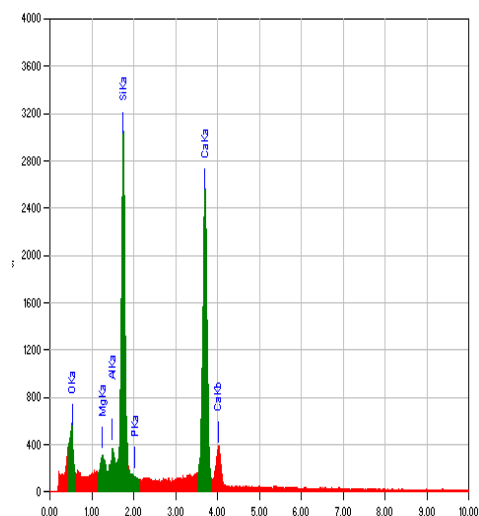


Рисунок 4 – Общий вид литого электротермофосфорного шлака, увеличение в 100 раз

Таблица 5 – Химический состав литого электротермофосфорного шлака

Element	(keV) mass%	Error%	At%	Compound mass%	K
1	2	3	4	5	6
O K *	0,525	34,65	0,82	52,68	17,6645
Mg K	1,253	1,49	0,14	1,50	1,0847
Al K	1,486	1,52	0,13	1,37	1,3363
Si K	1,739	25,40	0,12	22,00	26,8601
P K *	2,013	0,18	0,17	0,14	0,1950
Ca K	3,690	36,76	0,17	22,31	52,8595
Total	100,00	100,00			
O *0,000	41,49	0,00	0,00	0,00	0,0000
Mg K 1,253	1,37	0,22	3,28MgO	2,27	1,3174
Al K 1,486	1,38	0,22	1,49Al ₂ O ₃	2,61	1,6229
Si K 1,739	22,91	0,22	47,54SiO ₂	49,02	32,6227
P K *2,013	0,16	0,35	0,15P ₂ O ₅	0,36	0,2368
Ca K 3.690	32,70	0,21	47,55CaO	45,75	64,2001
Total	100,00		100,00	100,00	
O K *	0,525	32,07	0,78	48,58	17,2654
F K *	0,677	4,31	0,60	5,49	0,7770
Mg K	1,253	1,47	0,14	1,47	1,0797
Al K	1,486	1,49	0,12	1,34	1,3301
Si K	1,739	24,84	0,11	21,43	26,7368
P K *	2,013	0,17	0,17	0,14	0,1941
Ca K	3,690	35,65	0,16	21,55	52,6169
Total		100,00		100,00	
O *0,000	39,20	0,00	0,00	0,00	0,0000
F K *0,677	5,66	0,78	6,09F	5,66	0,9392
Mg K 1,253	1,31	0,21	3,12MgO	2,17	1,3050
Al K 1,486	1,31	0,21	1,41Al ₂ O ₃	2,48	1,6077
Si K 1,739	21,72	0,21	44,88SiO ₂	46,47	32,3163
P K *2,013	0,15	0,33	0,14P ₂ O ₅	0,33	0,2346
Ca K 3,690	30,65	0,19	44,37CaO	42,88	63,5972
Total	100,00		100,00	100,00	

В таблице 6 приведен химический состав литого электротермофосфорного шлака из отвалохранилищ ДПО-Химпром и НДФЗ [3].

Таблица 6 Химический состав шлака отхода фосфорного производства, находящегося в отвалохранилищах ДПО-Химпром и НДФЗ

Наименование материала	Химический состав в %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	п.п.п.
Шлак электротермофосфорный, литой	38,6-43,9	1,8-3,6	2,10-6,5	45-50	0,3-0,4	0,2-0,6	0,2-0,6	0,1-0,5	0,39

ЛИТЕРАТУРА

1. Дворкин Л.И., Дворкин О.Л. Строительные минеральные вяжущие материалы. – М.: Инфра-инженерия, 2011. – 544 с.
2. Жантасов К.Т., Досалиев К.С., Босак В.Н., Дормешкин О.Б. Использование техногенных отходов для дорожной одежды коробчатого типа // Труды БГТУ. Серия: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. - 2017. - № 2. - С. 170-175.
3. Zhantasov K.T., Dossaliev K.S., Bossak V.N. Investigation of the physicochemical properties of the components of the burden for box-type road clothes. IV International conference «Industrial technologies and engineering». - M. Auezov South Kazakhstan State University, Shymkent, Kazakhstan, ICITE-2017. P. 32-38.

Подсекция «Технология и оборудование деревообрабатывающей промышленности»
--

УДК 693.94

О.К. Леонович, доц., канд. техн. наук;
А.Ю. Короб, магистрант (БГТУ, г. Минск)

ФОРМИРОВАНИЕ УТЕПЛЕНИЯ ОГРАЖДАЮЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ПЕРЕКРЕСТНО-СРОЩЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ

Одним из новейших направлений в строительстве деревянных малоэтажных зданий являются массивные многослойные деревянные панели, в которые смежные слои досок перекрестно соединены между собой при помощи нагелей или алюминиевых гвоздей. Такая конструкция обеспечивает стабильность размеров и формы панелей, хорошие теплофизические показатели, близкие к показателям утеплителей, и экологичность.

Однако деревянное домостроение не обходится без дополнительной тепловой изоляции наружных стен.

При проектировании не в полной мере учитываются характер воздействия на нее ветровой и механической нагрузок, температурные и влажностные изменения в окружающей среде и ряд других воздействий. Нет также экспериментальных данных об эффективности различных конструкций тепловой изоляции.

При выполнении утепления эксплуатируемых зданий с наружной стороны теплоизоляционные материалы укрываются либо штукатурными слоями, либо защитными экранами на отnose, т.н. вентилируемые фасадными системами (ВФС). Штукатурные системы разделяются на «легкие» (ЛШС) и «тяжелые» (ТШС). Их различие в конструкции элементов крепления и штукатурных слоев. В ТШС используются штукатурки толщиной более 10 мм с армированием металлическими сетками, в ЛШС — штукатурки полимерцементным раствором, толщиной до 6 мм с армированием сетками из щелочестойкого стекловолокна.

Преобладающей технологией ведения работ на настоящий момент являются «мокрые» способы теплоизоляции с легкими штукатурными системами, как наиболее дешевые. Основным недостатком указанных систем – недолговечность наружного укрывного штукатурного слоя.

На сегодняшний день наиболее перспективными являются системы утепления по способу «вентилируемый фасад». Система кроме элементов крепления слоя теплоизоляции имеет кронштейны с анкерами крепления защитного экрана. Между экраном и слоем теплоизоляции имеется воздушная вентилируемая прослойка (ВВП), назначение которой состоит в удалении диффундирующего через ограждение водяного пара.

При проектировании систем утепления «вентилируемый фасад» предполагается выполнение расчетов:

- приведенного сопротивления теплопередаче, с учетом влияния элементов крепления слоя теплоизоляции;
- влажностного режима, с определением потока водяного пара, диффундирующего в ВВП;
- геометрических характеристик ВВП для ассимиляции движущимся в ВВП воздухом диффундирующего потока водяного пара;
- воздухопроницаемости, для выбора мер по защите слоя теплоизоляции от продольной, поперечной и внутренней фильтрации воздуха.

Наружные ограждающие конструкции жилых зданий эксплуатируются в сложных температурно-влажностных условиях. Это необходимо учитывать при проектировании конструкций утепления. В Беларуси насчитывается шесть областей, каждая из которых характеризуется своими - рассчитанными параметрами наружного воздуха: средней температурой наружного воздуха, средней относительной влажностью наружного воздуха, парциальным давлением водяного пара наружного воздуха. Кроме того, известно, что в эксплуатируемых жилых зданиях температура внутреннего воздуха и его относительная влажность, как правило, отличаются от их расчетных значений по СНБ 2.04.01-97. Поэтому часто даже при обеспечении одного из нормируемых требований к теплотехническим параметрам ограждающей конструкции, например, сопротивлению теплопередаче, другие ее показатели могут не соответствовать нормативным требованиям.

На основании анализа формул, используемых в теплотехнических расчетах, установлены значения коэффициентов весомости факторов для параметров, определяющих сопротивление теплопередаче и паропроницанию наружных ограждающих конструкций зданий. Так, при определении сопротивления теплопередаче R_t , толщина слоя «дэльта» и коэффициент теплопроводности материала "лямбда" имеют примерно одинаковую степень влияния на его значение. Для однослойной ограждающей конструкции коэффициенты весомости соот-

ветственно равны - для «дэльта» 0,53 (53%); для «лямбда» - 0,47 (47%). Таким образом, при проектировании новых или утеплении уже эксплуатируемых конструкций наружных ограждений зданий значение R_t в одинаковой степени можно регулировать как толщиной слоя, так и значением коэффициента теплопроводности материала этого слоя.

В расчетах на паропроницаемость, при определении температуры в плоскости возможной конденсации наибольшую весомость (50%) имеет термическое сопротивление слоев ограждающей конструкции от внутренней поверхности конструкции до плоскости возможной конденсации. Далее по своей значимости следует сопротивление теплопередаче ограждающей конструкции (46%). Примерно одинаковые коэффициенты весомости у расчетной температуры внутреннего воздуха (1%) и средней температуры наружного воздуха за отопительный период (3%).

Наибольшее влияние на значение требуемого сопротивления паропрооницанию оказывает парциальное давление водяного пара наружного воздуха (55% – параметры наружного воздуха, которые устанавливаются в соответствии с СНБ 2.04.01-97). Незначительно влияют сопротивление паропрооницанию ограждающей конструкции в пределах от плоскости возможной конденсации до наружной поверхности ограждающей конструкции (10%) и парциальное давление водяного пара внутреннего воздуха (10%). Полученные данные о коэффициентах весомости факторов, определяющих теплотехнические характеристики ограждающих конструкций, могут быть использованы проектировщиками при проектировании новых и утеплении старых стен зданий.

В результате специальных обследований жилых зданий установлено, что далеко не всегда расчетные параметры воздуха в помещениях, принятые по СНБ 2.04.01-97, соответствуют их фактическим значениям. Поэтому даже при обеспечении требуемого сопротивления теплопередаче ограждающей конструкции другие ее теплотехнические показатели, в частности, сопротивление паропрооницанию, могут не соответствовать нормативным требованиям.

С другой стороны, долговечность тепловой изоляции наружных стен зданий во многом зависит от соблюдения требований по обеспечению сопротивления паропрооницаемости ограждающей конструкции. Поэтому при проектировании конструкций утепления следует учитывать реальные условия эксплуатации ограждающих конструкций.

В результате выполненных теплотехнических расчетов установ-

лено, что увеличение толщины слоя утеплителя, при постоянных параметрах наружного и внутреннего воздуха, не является эффективным способом повышения сопротивления ограждающей конструкции (части многослойной ограждающей конструкции) паропрооницанию. Рост сопротивления паропрооницанию R_p наблюдается в той же мере, что и рост требуемого сопротивления паропрооницанию R_{ptr} , а соотношение между ними (R_p / R_{ptr}) имеет, как правило, один и тот же порядок при небольшой изменчивости (коэффициент вариации v примерно равен 3%. – см. рисунок 1.

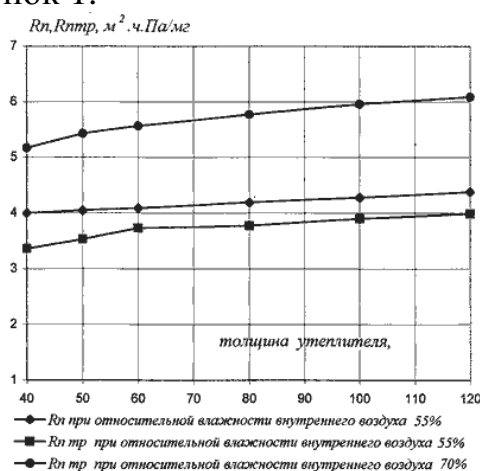


Рисунок 1 – График зависимости сопротивления паропрооницания

ЛИТЕРАТУРА

1. Леонович О.К., Короб А.Ю. Перспективные направления в строительстве деревянных малоэтажных зданий // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252)
2. Нестеренко В. Современные системы утепления наружных стен эксплуатируемых зданий, наиболее эффективные для Республики Беларусь // Строительство и недвижимость. 2001. №26. С. 15-16.
3. Крутилин А.Б. Наружные теплоизоляционные системы стен отапливаемых зданий. Фасадные системы с вентилируемыми воздушными прослойками // 13-й Международной научно-технической конференции. Минск, БНТУ, 2015. С. 179.

УДК 674.093.26

О.К. Леонович, канд. техн. наук, доц.;
Н.А. Мазало, магистрант (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДРЕВЕСИНЫ, ПРОПИТАННОЙ АНТИСЕПТИКАМИ

Целью работы является проведение исследований по долговечности древесины, пропитанной антисептиками по оптимизированной методике.

Исследования долговечности в зависимости от условий эксплуатации по отношению к дереворазрушающим грибам происходит в климатической камере по заданным режимам, изложенным в публикации авторов в сборнике БГТУ, и длятся 8 дней на один год эксплуатации, после чего проводятся испытания на устойчивость к дереворазрушающим грибам после каждого цикла испытаний по ГОСТ 16712-95.

На данный момент единственным документом, регламентирующим испытания древесины по отношению к дереворазрушающим грибам, является ГОСТ 16712-95 «Средства защитные для древесины. Метод испытания токсичности». Однако данный ТНПА имеет ряд недостатков. Это значительная продолжительность испытания (около 2-х месяцев), низкая воспроизводимость результатов и наличие дорогостоящей аппаратуры для пропитки образцов.

МВИ ХХХ.001-2003 «Методика ингибирующей способности защитных средств для древесины» была разработана на базе БГТУ и имеет непродолжительное время испытания (до 2-х недель), достаточно высокую воспроизводимость (т. к. используемые готовые питательные среды имеют определенный состав и рН-среды и одинаковое количество посевного материала, наносимого на образцы древесины), пропитка древесины проводится способом вымачивания и/или нанесения кистью раствора защитного средства.

Для проведения испытания было взято современное водорастворимое защитное средство. Дата выпуска сентябрь 2021 года.

В результате полученных данных по проведению испытания по ГОСТ 16712-95 были получены следующие результаты, которые представлены в таблице 1.

Пороговое поглощение защитного средства составило 2,3 %.

Для определения порогового поглощения построили график изменения средней потери массы древесины в зависимости от поглощения защитного средства. Для этого рассчитали среднюю потерю массы

пропитанных образцов древесины D_{95} , соответствующую 5% средней потери массы непропитанной древесины.

Таблица 1 – Результаты испытания, выполненного по ГОСТ 16712-95

Концентрация защитного средства, %	Средняя разница массы образцов древесины до и после пропитки	Среднее поглощение защитного средства, %	Средняя потеря массы древесины, Д, %
0	1,7	0,0	59,0
2		0,7	31,0
4		1,27	15,0
5		1,7	7,0
6,5		2,29	3,0
8,5		2,92	0,2

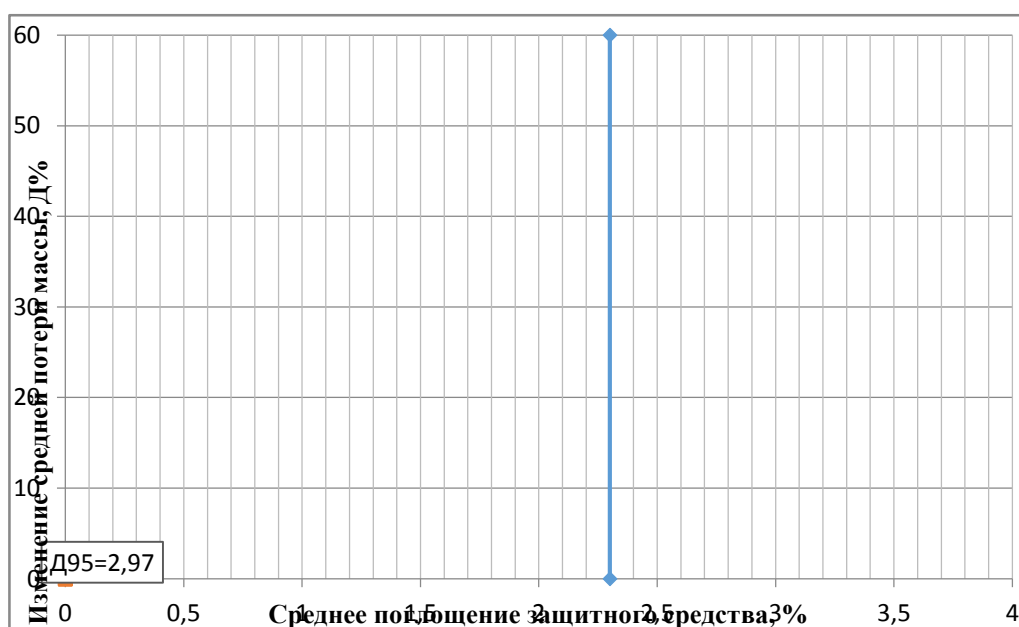


Рисунок 1 – График изменения средней потери массы древесины в зависимости от поглощения защитного средства

В результате полученных данных по проведению испытания по МВИ ХХХ.001-2003 были получены результаты, которые представлены в таблице 2. Пороговое поглощение защитного средства составило 2,2 %.

Для определения порогового поглощения построили график зависимости величины ингибирующего эффекта от поглощения защитного средства. После чего провели прямую для ингибирующего эффекта равного 95% до пересечения с построенным графиком и из данной точки опустили перпендикуляр на ось поглощения защитного средства.

Таблица 2 – Результаты испытания, выполненного по МВИ XXX.001-2003

Концентрация защитного средства, %	Средняя разница массы образцов древесины до и после пропитки	Среднее поглощение защитного средства, %	Ингибирующий эффект, %
0	1,7	0,0	0,0
2		0,59	17,3
4		1,16	59,4
5		1,44	72,4
6,5		1,9	87,8
8,5		2,46	100,0

Полученные данные представлены на рисунке 2.

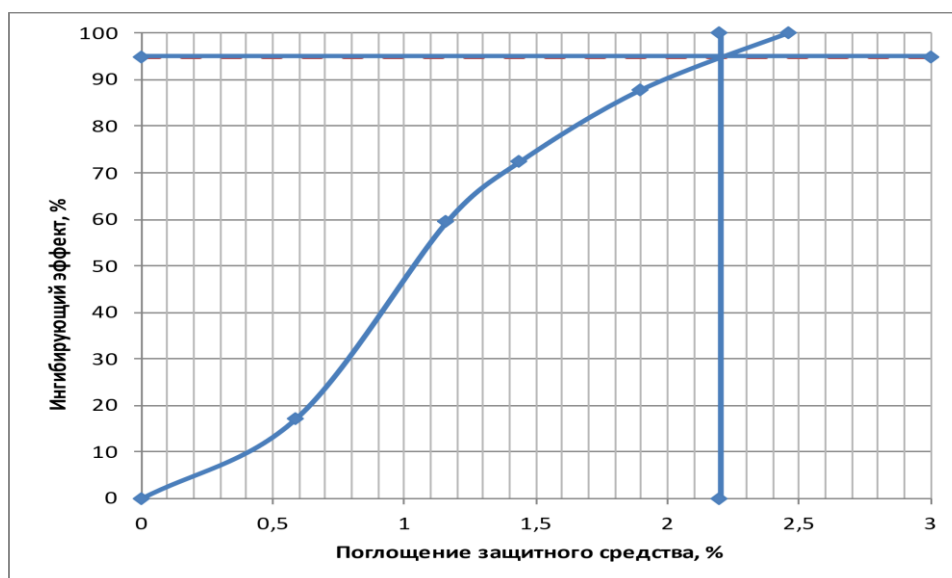


Рисунок 2 – График зависимости величины ингибирующего эффекта от поглощения защитного средства

Заключение: оба метода показали сопоставимые результаты. Метод определения эффективности защиты МВИ XXX.001-2003 может применяться наряду с ГОСТ 16712-93, что дает возможность правомерного применения методики МВИ XXX.001-2003 при определении эффективности защитных средств к дереворазрушающим грибам при определении долговечности за две недели вместо 2-х месяцев по ГОСТ 16712-93

УДК 678.549

О.К. Леонович, канд. техн. наук, доц.;
С. А. Дупанов, асп. (БГТУ, г. Минск)

ФОРМИРОВАНИЕ ПЬЕЗОПЛАСТИКОВ ИЗ ДРЕВЕСНЫХ ОПИЛОК МОРЕНОГО ДУБА

Республика Беларусь обладает огромными запасами лесных ресурсов. Запасы древесины составляют около 1 млрд. м³. Ежегодный естественный прирост древесины достигает 32 млн. м³.

Ежегодно в лесах наблюдается естественный отпад подростка под пологом леса около 7 млн. м³.

Потребление древесины на различные хозяйственные цели достигло в пределах 29 млн. м³ и продолжает возрастать.

При заготовке древесины на лесосеках остается около 10 % порубочных остатков, которые сбрасываются в валы или остаются на лесосеке. Практически эта древесина, включающая пни, порубочные остатки, ветки безвозвратно утеряна для дальнейшей переработки. Мало того, она наносит серьезный экологический вред, выделяя углекислый газ в окружающую среду при разложении и создает благоприятные условия для распространения технических вредителей древесины.

Таким образом, рассматривая общий баланс воспроизведения и потребления древесины, мы замечаем практический перерасход потребления над естественным приростом древесины, а также нерациональное использование образовавшихся отходов на начальной стадии заготовки древесины.

Переработка образовавшихся отходов в пластические материалы и биоразлагаемые пленки является одной из важнейших задач на современном этапе развития деревообрабатывающей отрасли.

В Республике Беларусь доля твердолиственных пород составляет 4 % от общего запаса.

Особое место занимает добыча и переработка мореного дуба, запасы которого достигают до 500 тыс. м³, из них разведанных около 20 тыс. м³.

Возраст добываемого мореного дуба из разведанных запасов, залегающего в реках и поймах рек, достигает возраста от 500 до 8000 лет и представляет собой ценнейший природный материал по своим эстетическим качествам.

Древесина мореного дуба является ценнейшим материалом для создания эксклюзивных материалов и изделий. В процессе распиловки, строгания, фрезерования, шлифования и обрезки мореного дуба различных периодов залегания (от 500 до 8000 лет) образуется от 40

до 60 % отходов. В литературе нет сведений о переработке отходов мореного дуба в пластический материал.

Переработка древесных отходов в пластические массы требует применения синтетических растворителей. Связующие вещества весьма дефицитные и дорогостоящие. Стоимость их составляет до 60 % от изделий из пластмасс.

Особый интерес представляет производство пьезотермопластиков из отходов древесных материалов, где не требуется применение связывающих компонентов и в то же самое время удается получать прочный полимер.

Однако эта область исследований недостаточно изучена. По переработке отходов древесины дуба в т. ч. и мореного дуба в пьезотермопластики исследовательских работ не обнаружено.

Целью работы является: организация высокоэффективного использования опилок при переработке древесины мореного дуба.

Предложено перерабатывать измельченные древесные отходы, в частности опилки в пьезотермопластики.

Древесина мореного дуба в зависимости от условий и времени залегания имеет различные физико-механические показатели.

Для пьезотермической обработки измельченных древесных отходов разработана и изготовлена герметическая прессформа, позволяющая прессовать слоистый пластик при высоких давлениях и температуре.

Достоинством пьезотермического метода является возможность использования отходов, которые содержат гемицеллюлозы, лигнин и целлюлозу, причем в процессе прессования не расходуется дорогостоящее связующее.

Исследованию подверглись опилки дуба из центральной части мореного дуба возрастом 500 лет. Прессование производили в прессформе размером 150x40мм и высотой 200 мм.

Для оптимального подбора режимов получения пьезопластиков из опилок мореного дуба исследовали изменения физико-механических показателей в зависимости от изменения варьируемых показателей с применением В – план математического планирования.

За варьируемые показатели выбраны:

- влажность прессматериала, которая играет важную роль при прессовании пьезопластиков. Так при незначительной влажности химические реакции гидролиза целлюлозы и гемицеллюлоз идут не до конца, что сказывается на неоднородности материала. Избыток влаги при высоких температурах образует пар и как результат микротрещины и неоднородность материала.

- температура прессформы, увеличивает пластичность материала и в прессматериале происходит гидролиз и пиролиз древесины. При температурах выше 200°C и значительной выдержке происходит деградация образовавшихся синтетических смол и потеря прочности.

- удельное давление прессования зависит от возрастания сил трения при прессовании, так как по мере сближения частиц силы отталкивания выше сил притяжения.

В-планы обладают существенными преимуществами по отношению к другим, например, рототабельное и нерототабельное планирование, планы Хартли; Коно и т. д. по следующим показателям:

- математическое описание процесса более достоверное, как в центре, так и в звездных точках;

- план содержит сравнительно небольшое количество опытов, но тем не менее позволяет получить максимальную информацию;

- переменные факторы имеют только три уровня варьирования, что облегчает проведение экспериментальных измерений.

Определены условия опытов, которые приведены в таблице.

Таблица 1 – Условия опытов для определения оптимальных технологических режимов для получения пьезопластиков из опилок мореного дуба

Код	Влажность пресс-материала, %	Температура прессформы, °C	Удельное давление прессования, Мпа
Верхний предел (+1)	20	200	40
Средний предел (0)	10	150	20
Нижний предел (- 1)	0	100	10

Для определения оптимальных прочностных свойств пьезотермопластиков выбраны следующие физико-механические показатели:

- определение ударной вязкости модифицированной древесины по ГОСТ 20571-75.

- определение предела прочности при сжатии, перпендикулярно слоям прессования и параллельно слоям прессования.

Заключение: Разработанная прессформа и методика прессования пьезотермопластиков, которая позволяет определить оптимальные режимы для всех видов отходов из древесины мореного дуба, различных возрастных периодов залегания. Установлены оптимальные варьируемые параметры для исследования пьезотермопластиков. Дальнейшие исследования позволят определить оптимальные режимы для производства пьезотермопластиков из мореного дуба и позволят более эффективно использовать ценнейшую древесину.

УДК 694.1

С.П. Трофимов, доц. канд. техн. наук;
С.А. Прохорчик, доц. канд. техн. наук;
С.С. Гайдук, доц. канд. техн. наук; Е.В. Ручкина, ассист.
(БГТУ, г. Минск)

ДЕРЕВЯННОЕ ДОМОСТРОЕНИЕ В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Объектом рассмотрения является домостроение с применением в качестве основного конструкционного материала древесины и древесных материалов. Элементами деревянного домостроения могут быть строительные конструкции:

- деревянные, изготовленные полностью или преимущественно из натуральной массивной древесины;
- гибридные, выполненные из древесины различных пород;
- деревянные клееные, соединение элементов которых осуществляется на клею;
- клефанерные с несущими элементами из древесины и фанеры или из фанеры;
- металлодеревянные, имеющие металлические несущие элементы и древополимерные из древесины и древесных материалов с полимерной облицовкой.

К композиционным строительным материалам относятся различные древесные плиты, пластики и древеснополимерные композиты. Массивная древесина может быть подвергнута различным способам модификации, пропитки антисептиками и антипиренами.

Древесина используется в домостроении с незапамятных времен, как достаточно дешевый, разнообразный, легкий в обработке, возобновляемый и доступный в заготовке во многих частях нашей планеты, материал. В период индустриализации, последних технологических укладов и развития производств он был значительно потеснен недревесными материалами.

В современном мире быстро повышается интерес к использованию экологически безопасных в производстве, потреблении и утилизации материалов, возобновляемых природой. Принципы применения «зеленых» технологий и материалов становятся все более актуальными. Во многих странах внедряются соответствующие стандарты международных системам сертификации зданий на предмет их экологической эффективности, например, BREEAM и LEED, наиболее популярных и узнаваемых во всем мире.

Древесина и древесные конструкционные материалы могут быть использованы в качестве основных при строительстве усадебных домов и коттеджей, многоквартирных малоэтажных и многоэтажных жилых домов, жилых домов повышенной этажности, общественных зданий различного назначения, эксклюзивных построек и церквей, мобильных и модульных зданий. В некоторых странах, обладающих лесными ресурсами, например, в России, приняты постановления о расширении применения древесины в строительстве.

Для реализации этого направления развития необходима подготовка квалифицированных кадров в области науки, инженерной деятельности и рабочих профессий, о которой говорится на лесопромышленных форумах и в учебной литературе [1]. Кроме того, необходима активизация научных исследований в рассматриваемой предметной области. Примером является Российская Федерация, где в последнее время защищены несколько кандидатских и докторских диссертаций по специальности 05.21.05 и смежным строительным, посвященных разработке и совершенствованию строительных конструкций и изделий из древесины и древесных материалов.

Актуальна разработка соответствующей нормативной базы в деревянном домостроении. В Республике Беларусь она представлена очень незначительно [2, 3] и малопродуктивна по причине проблем взаимодействия с отечественными техническими нормативными правовыми актами. Россия более активна в разработке стандартов, сводов правил и строительных норм в этой области по причине их востребованности.

Основными технологиями строительства деревянных домов являются следующие: каркасная; каркасно-панельная; панельная CLT и МНМ; с применением клееного и пиленого бруса; бревенчатого сруба; «чуркобетона».

Разрабатываются новые виды строительных материалов, конструкций и изделий для деревянного домостроения, к ним относятся не производимые в РБ: LVL-панели и балки клееные из шпона; Solid Wood панели из массива; сэндвич-панели SIP из ОСП с утеплителем во внутреннем слое; панели DendroLight с воздушными полостями в среднем слое – для междуэтажных перекрытий, полов, стен, перегородок и дверей. Имеется также отечественная разработка стеновых панелей любой толщины с торцовым наполнителем среднего слоя [4].

Все более активно внедряются новые виды методов обработки древесины для улучшения эксплуатационных свойств и показателей массивной древесины. Модификация древесины ацелированием по технологии «Ассоа» увеличивает срок ее службы, устойчивость к

увлажнению, совместимость с покрытием, нетоксична, не ослабляет материал и даже повышает прочность ее на изгиб, снижает теплопроводность, сохраняет повышает прочность и стабильность размеров. Профили «ökodura» со слоем термомодифицированной древесины – альтернатива тропическим породам.

В богатых лесными ресурсами США, Канаде, ряде государств Европы доля деревянного домостроения в среднем составляет 40%, в Японии – 45%. Россия занимает второе место по объему лесных ресурсов в мире, но на такое жилье приходится всего 12% от общего объема строительства.

Проблемы, тенденции и перспективы развития деревянного домостроения активно обсуждаются в России на конференциях и в публикациях, так в статье [5] приводятся анализ ситуации, возможности ее улучшения, прогнозы развития. В источниках информации содержатся статистические данные, характеризующие изменения в этой области. Согласно данным Росстата, в 2020 году объем ввода деревянных домов составил 9 350 тыс. м², что на 520 тыс. м² (+5,9%) больше, чем в предшествовавшем году. Стимулирует спрос на деревянные дома и возможность воспользоваться льготными кредитами при покупке у производителей деревянных домов заводского изготовления.

По оценкам экспертов Ассоциации деревянного домостроения РФ, около 40% индивидуальных жилых домов категории «Прочие материалы стен» также построены с использованием деревянных несущих конструкций. Как правило, это дома на основе деревянного каркаса с многослойными стеновыми конструкциями, различными вариантами фасадной отделки, включая дома из SIP-панелей и комбинированные. Сегмент деревянных домов на основе каркасных, каркасно-щитовых, каркасно-панельных, фахверковых и с применением SIP-панелей характеризует уверенный рост.

В Республике Беларусь деревянное домостроение не является популярным, об этом говорится в Интернет-источниках информации. Построить деревянный дом многим не позволяют средства. В тоже время следует отметить, что конечная стоимость деревянного дома с отделкой не превышает стоимости кирпичного или дома из блоков. При строительстве дома из кирпича или блоков возводится коробка и крыша (до 50% от общей стоимости проекта), что позволяет растянуть дальнейшие отделочные работы на более длительный срок, вкладывая средства поэтапно. При строительстве же деревянного дома в большинстве случаев привозится готовый комплект, который собирается за короткое время и учитывается сезонность (стоимость этих работ составляет достигает 70% общей стоимости проекта). В

этом случае отделочные работы предусматривают только наружную и внутреннюю покраску.

Крупнейшим производителем деревянных домов в Республике Беларусь можно назвать РУП «Завод газетной бумаги» в Шклове. Предприятие выпускает каркасно-панельный и дома из клееного бруса, бани, беседки, летние домики и танхаусы. Практически вся продукция идет на экспорт, основным покупателем, которых в последнее время, является Франция. Но об активных продажах на отечественном рынке речь пока не идет. Дома из бруса заказывают крайне редко. С каркасно-панельными постройками ситуация немного лучше, производственные возможности их выпуска имеют Гомельский ДОК и СООО «Каркасные строительные технологии».

В деревянном домостроении могут быть повторно использованы бревна, брус и доски разбираемых старых строений. Выдержанная на протяжении многих лет, сухая и сохранившаяся в хорошем состоянии древесина формоустойчива, может иметь достаточно высокие физико-механические показатели и прекрасно выглядеть. Старая древесина – строительный материал для стен, перегородок и отделки интерьера помещений. В Западной Европе и США имеется предложение на рынке старой древесины под названием *altholz* (нем.) и *reclaimed wood* (англ.), а также услуг по ее механической обработке и использованию в строительстве. Применение этого материала за рубежом соответствует требованиям «зеленых» стандартов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Деревянное домостроение: учебное пособие / под общ. ред. Черных А. Г. – СПб.: СПбГЛТА, 2008. – 343 с.
2. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-1. Общие правила и правила для зданий: ТКП EN 1995-1-1-2009. Введ. 01.01.2010. Минск: Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 98 с.
3. Еврокод 5. Проектирование деревянных конструкций. Часть 1-2. Общие правила определения огнестойкости: ТКП EN 1995-1-2-2009. Введ. 01.01.2010. Минск: Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь, 2010. – 53 с.
4. Кузьмич, Н. С., Трофимов С. П. Трехслойные строительные щиты с наполнителем из неликвидной древесины / Н.С. Кузьмич, С.П.Трофимов. – Труды БГТУ. Серия II. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. Выпуск XII. – 2004. – С. 185–187.
5. Деревянное домостроение сегодня и завтра // «ЛесПромИнформ». №7 (161). – 2021. – С. 76–79.

УДК 674.053:636.932.2

А.А. Гришкевич, доц., канд. техн. наук;
Г.В. Алифировец, инж. (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ ЗУБА МЛЕКОПИТАЮЩЕГО ГРЫЗУНА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ КОНСТРУКЦИИ АДАПТИВНОГО ИНСТРУМЕНТА

Обыкновенный бобр, или речной бобр – полуводное млекопитающее отряда грызунов; один из двух современных представителей семейства бобровых (наряду с канадским бобром, которого ранее считали подвидом). Современные бобры делятся на два вида: обыкновенный бобр, распространённый в Евразии, и канадский бобр, естественным ореолом обитания которого является Северная Америка. Из-за большого сходства во внешнем виде и повадках между двумя популяциями бобров до недавнего времени канадский бобр считался подвидом обыкновенного бобра, пока не выяснилось, что генетическое отличие между этими видами всё же есть [1].

В Беларуси бобр распространён по всей территории. Общее количество бобров, населяющих отдельную водную систему (более или менее крупную), составляет бобровую популяцию. В Беларуси выделены неманская, березинская, сожская, днепровская, припятская, западно-двинская и западно-бугская популяции, достаточно изолированные друг от друга [2, 3, 4].

Бобры исключительно травоядны, они питаются корой и побегами деревьев, предпочитая осину, иву, тополь и берёзу, а также различными травянистыми растениями (кувшинкой, кубышкой, ирисом, рогозом, тростником). С целью добывания коры и побегов, а также для строительных нужд бобры срезают деревья, подгрызая их у основания. Осину диаметром 5–7 см. бобр перерезает за 5 минут, дерево диаметром 40 см. перерезает и «разделяет» за ночь. Его челюсти действуют как пила: чтобы свалить дерево, бобр упирается верхними резцами в его кору и начинает быстро водить нижней челюстью из стороны в сторону, совершая 5-6 движений в секунду.

Зубья у бобра самозатачивающиеся: только передняя их сторона покрыта эмалью, задняя состоит из менее твердого дентина. Когда бобр что-либо грызёт, дентин стачивается быстрее, чем эмаль, поэтому основная режущая кромка зуба всё время остается острой.

Чтобы компенсировать постоянное стачивание, зубья бобра растут с весьма впечатляющей скоростью – почти на 0,5 см в месяц. Однако если

бобру случается потерять зуб, он обречён на катастрофические неприятности.

На рисунке 1 представлены зубы бобра.



Рисунок 1 – Черепная часть головы бобра



Рисунок 2 – Зубья бобра (верхний и нижний)

На рисунке 2 представлены верхние и нижние зубья. Для определения химического состава и внутреннего строения зуба была произведена запресовка зуба и микрошлиф, далее были сделаны фотографии фотографии увеличенного зуба и определен химический состав.

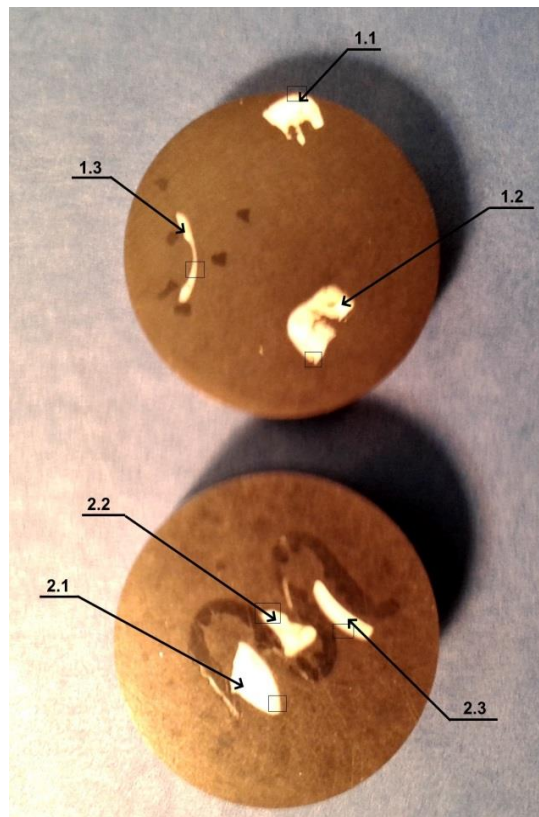


Рисунок 3 – Запресовка зуба

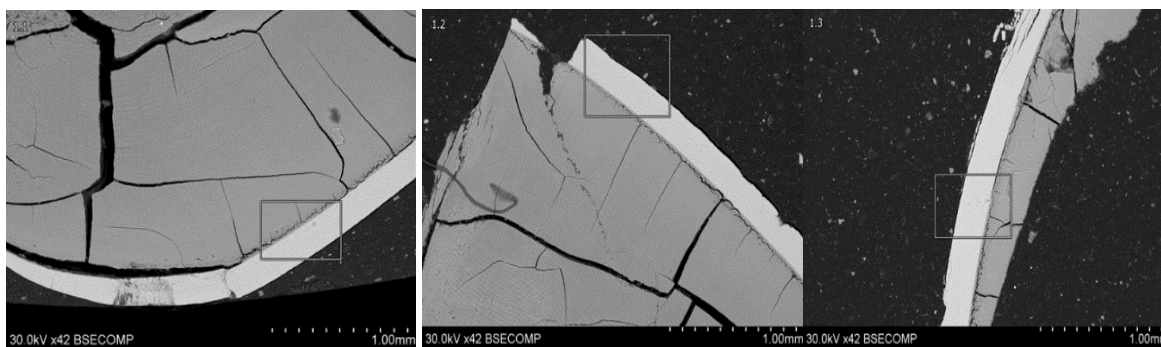


Рисунок 4 – Фотографии зуба

Выводы по работе:

1. Анализ режущей части зуба бобра показывает, что в поперечном сечении он не является однородным.
2. В процессе резания его передняя поверхность изнашивается более интенсивно, чем задняя. При этом режущая кромка остается острой и не претерпевает аварийного разрушения.
3. Качество поверхности, получаемое при срезании древесины зубом бобра, высокое, и достигает ориентировочно 6,3–3,2 мкм.
4. Предварительный анализ показывает, что задний угол при резании древесины зубом очень мал, и стремится к нулю.
5. В дальнейшем будет изучен более детально химический состав зуба, его угловые характеристики и взаимодействие с древесиной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Машкин В.И. Биология промысловых зверей России. 2007, 387-393 с.
2. Фоменков А.Н. «Бобр европейский речной» / Звери: Популярный энциклопедический справочник (Животный мир Беларуси). Минск, 2003. С.77-85.
3. Быкова Н.К., Лях Ю.Г., Пальчевская К.И., Ермолаева И.А., Янута Г.Г. «Животный мир» / Состояние природной среды Беларуси. Экологический бюллетень за 2013 год. Минск, 2014 С.272-305.
4. Бондаревич В. «Бобр обыкновенный» / Лесное и охотничье хозяйство. №12, 2015. С. 44-47.

УДК 004.946:674

А.С. Чуйков, канд. техн. наук, зав. кафедрой; О.Г. Рудак, ст. преп.;
В.О. Куневич, мл. науч. сотр. (БГТУ, г. Минск)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ВИРТУАЛЬНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ВИЗУАЛИЗАЦИИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ МЕБЕЛИ

В настоящее время компании по всему миру конкурируют друг с другом, используя новые технологические решения, услуги и продукты, просто чтобы не отставать от времени и, что самое главное, привлечь внимание потенциальных клиентов.

И именно поэтому все больше и больше компаний используют технологии виртуальной реальности.

VR (Virtual Reality), сокращенно от виртуальной реальности, все еще относительно новая, но также одна из самых быстроразвивающихся технологий. Это предоставляет любой компании необычную возможность привлечь еще больше клиентов к своему бренду, сделав его более привлекательным и интерактивным.

С тех пор как тенденция к внедрению новейших технологий стала более актуальной и быстро завоевала интерес, VR нашла свой собственный, уникальный путь в различных отраслях промышленности, включая мебельную [1].

Жизненный цикл любого изделия мебели как правило включает несколько этапов, выделяемых по признакам характерных для него явлений, процессов (работ) и конечных результатов. Основные стадии жизненного цикла – это научные исследования, проектирование, производство, эксплуатация, утилизация и т. д.

Одними из наиболее важных этапов являются проектирование и производство изделия, поскольку они наиболее трудоемкие, материалоемкие, а сам процесс постановки изделия на предприятии занимает достаточно много времени.

Использование современных программных продуктов виртуального моделирования и визуализации позволяют в значительной степени сократить продолжительность проектирования без вовлечения материальных ресурсов.

Например, классическая схема производства изделия состоит из составления технического задания, разработки эскизного проекта, разработки технического проекта, разработки конструкторской документации и как следствие изготовление опытного образца, устранение недостатков и запуск изделия в серию.

Применение электронного геометрического моделирования при проектировании промышленных изделий является в настоящее время нормой [2].

Создание электронных геометрических параметров изделия – это основная часть структуры систем автоматизированного проектирования (САПР) современного промышленного предприятия. На основе электронной геометрической модели изготавливается графическая документация, проводится контроль качества и собираемость изделий, создаются видовые презентационные изображения и ролики для продвижения товара на рынке. Применение САПР в деревообрабатывающей промышленности имеет свои особенности, связанные со спецификой применяемых материалов и фурнитуры. Процесс создания любого изделия как правило состоит из нескольких основных стадий:

- создание эскиза будущего проекта;
- выбор материалов, фурнитуры и конструкции сборочных единиц;
- построение 3D моделей изделия и применяемых элементов декора;
- создание конструкторской документации;
- создание карт раскроя, оптимизация и унификация размеров заготовок и разработка программного обеспечения для многофункциональных станков с ЧПУ;
- функционально-стоимостной анализ образцов (прототипов) мебели;
- создание фотореалистичных изображений мебели.

Как правило на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь все эти задачи выполняют в различных программных продуктах, в результате чего продолжительность процесса проектирования значительно увеличивается. Это связано как правило с тем, что для выполнения каждого вышеописанного пункта необходимо каждый раз создавать модель изделия с самого начала. Проблему ускорения данного процесса как правило решают за счет дробления поставленной задачи на составляющие и привлечения большего числа специалистов для их решения. Однако такой подход не всегда верный. При отсутствии координационных действий между специалистами решение поставленной задачи в рамках крупного деревообрабатывающего предприятия невозможно, а увеличение количества сотрудников ведет к увеличению материальных издержек. В большей степени избавиться от вышеперечисленных проблем можно за счет применения современных CAD и CAM систем (например, программные продукты компании Autodesk).

CAD (от англ. Computer-aided design) – автоматизированная система проектирования, основанная на применении компьютерных технологий.

CAM (от англ. Computer-aided manufacturing) – автоматизированная система, либо модуль автоматизированной системы, предназначенный для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ.

Для разработки эскизного проекта подходит программа Fusion 360 компании Autodesk. Данный программный продукт не требует высокой производительности компьютеров и позволяет за сравнительно короткий промежуток времени создать 3D модель будущего изделия, а за счет текстурирования деталей получить реалистичное изображение.

Для создания основной конструкторской документации необходим схожий программный продукт, обладающий гораздо большим функционалом – Autodesk Inventor. За счет того, что разработчиком данных программ является одна компания, то процесс экспорта/импорта 3D моделей из одной программы в другую не вызывает никаких проблем. Программа Inventor позволяет уточнить разработанные модели за счет вставки фурнитуры и различных соединений. Однако стоит отметить, что программа Inventor универсальная и не учитывает специфики мебельных производств. В связи с этим, компанией Čeli Automatizovoto Projektavimo Sistemos (Чели Системы Автоматизированного Проектирования) был разработан специальный модуль Woodwork for Inventor, который позволил проектировать практически любую корпусную и мягкую мебель. За счет внедрения его на предприятии были автоматизированы многие процессы проектирования, достигнуто снижение их продолжительности и как следствие избавление от потенциальных ошибок еще на этапе создания трехмерной модели. Использование данной программы позволило быстро расставить фурнитуру, автоматически сгенерировать необходимый пакет чертежей, сформировать карты раскроя плитных материалов, при необходимости провести прочностной анализ изделий, подготовить управляющие программы для станков с ЧПУ и т. д. Применение системы параметризации сборочных единиц позволило быстро изменять габаритные размеры трехмерной модели изделия и конструкторскую документацию при сохранении необходимых баз на присадку и с учетом кратности [3].

Полученные модели мебели были перенесены в среду виртуальной реальности, где специалисты предприятия смогли оценить внешний вид изделий, а также работу фурнитуры и механизмов. Затем были внесены в конструкцию соответствующие правки и корректировки, после чего набор мебели был реализован в материале.

Использование современных средств компьютерного моделирования и визуализации позволило сократить продолжительность процесса проектирования, снизить затраты материальных ресурсов и, как следствие, быстрее запустить процесс серийного производства изделий.

Стоит также отметить, что в настоящий момент виртуальная реальность позволяет оценить внешний вид изделий и симитировать взаимодействие с фурнитурой и механизмами, однако для проектировщиков важна еще оценка влияния нагрузок на элементы конструкции изделий. В связи с этим сотрудники кафедры технологии и дизайна изделий из древесины занимаются решением данной задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. VR в промышленности [Электронный ресурс] // Хабр. М., 2006. URL: <https://habr.com/ru/post/509374> (дата обращения 24.09.2021).

2. Чуйков А. С., Игнатович Л. В. Особенности проектирования трехмерных моделей и конструкций декоративных элементов мебели и их изготовления // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. – 2021. – № 1 (240). – С. 156–161.

3. Сазанов Е. А. Повышение эффективности использования программ трехмерного моделирования в проектировании // Молодой ученый. – 2014. – № 7 (66). – С. 177–179.

УДК 674:502.171

А.С. Чуйков, канд. техн. наук, зав. кафедрой;
Л.В. Игнатович, канд. техн. наук, доц.;

О.Г. Рудак, ст. преп.; Е.И. Гордиевич, преп.-стажер (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время одной из основных задач лесной и деревоперерабатывающей промышленности является рациональное использование лесосырьевых ресурсов и разработка энергосберегающих, экологически безопасных технологий при изготовлении конкурентоспособной продукции, в частности столярно-строительных изделий, мебели.

Динамика внедрения энергосберегающих и экологически безопасных технологий в деревообрабатывающую промышленность нарастает с каждым годом. Актуальными являются вопросы совершенствования универсальных принципов при разработке энергосберегающих и экологически безопасных технологий в деревообрабатывающих производствах.

Деревообрабатывающая отрасль республики представлена следующими производствами: лесопильным (пилопродукция); древесных плит (ДСтП, МДФ/ХДФ, напольные ламинированные покрытия); фанеры, спичек; столярно-строительным (погонажных изделий, строительных конструкций, окон, дверей, домов); производство древесного топлива; мебельным. Доля деревообработки в общем объеме производства концерна «Беллесбумпром» составляет – 41% [2]. Древесные отходы образуются в большом количестве практически на всех стадиях технологического процесса: лесозаготовки, лесопиления и деревообработки.

Древесина – единственный вид топлива, естественно возобновляющийся в больших объемах. Древесное топливо практически не содержит серы, поэтому в дымовых газах при сжигании древесины не содержится сернистого и серного газа, а содержание окиси углерода в современных энергоустановках ТЭС минимально [1].

Вся промышленная политика предприятий концерна и лесопромышленного сектора республики в целом строится на наличии собственных древесных ресурсов и их рациональном, высокоэффективном использовании внутри страны. Стратегическая цель отрасли – переработать имеющийся запас сырья на собственных предприятиях и обеспечить реализацию продукции с высокой добавленной стоимостью. На современном этапе достичь этого можно только путем внедрения новых технологий и создания мощных современных производств [2].

Деятельность организаций деревообрабатывающей и мебельной промышленности в области охраны окружающей среды направлена на обеспечение экологической безопасности, на предотвращение, выявление и пресечение нарушения требований законодательства в области охраны окружающей среды, а также на снижение вредного воздействия на окружающую среду путем применения малоотходных и ресурсосберегающих технологий.

На предприятиях концерна планируются и реализуются природоохранные мероприятия, направленные на снижение выбросов вредных веществ в атмосферный воздух и рациональное использование водных ресурсов [2]. С этой целью на деревообрабатывающих предприятиях республики внедрена Система управления (менеджмента) окружающей среды, сертифицированная в соответствии с СТБ ISO 14001–2017 г. Разработаны и экологические паспорта предприятия [2].

Для организации охраны атмосферного воздуха и обеспечения установленных нормативов предприятиями для улавливания загрязняющих веществ, древесной, металлической, выделяемых от источ-

ников выбросов (технологического оборудования) используются электрофильтры, циклоны-сепараторы, установки рукавных фильтров, мультициклоны, золоуловители и др. пыле газоулавливающие установки.

На предприятиях регулярно проводятся проверки газоочистных установок на эффективность. Ведется постоянный радиационный контроль над содержанием радионуклидов Цезия-137 в древесине, поступающей на предприятие, и продуктов ее переработки в соответствии с нормативной документацией. В объеме образования отходов производства учтены вторичные материальные ресурсы (отходы лесозаготовок, деревообработки при производстве мебели, плитных материалов и др.), которые используются в качестве топлива для получения тепловой энергии или реализуются населению и сторонним организациям.

В целях обеспечения выполнения международных обязательств, принятых Республикой Беларусь по реализации положений Стокгольмской конвенции о стойких органических загрязнителях, предотвращения вредного воздействия стойких органических загрязнителей на окружающую среду и здоровье граждан предприятиями концерна осуществляется вывод из эксплуатации оборудования (трансформаторов и конденсаторов), содержащего поли хлорированные бифенилы (ПХБ). До 2025 года необходимо обеспечить вывод 100% оборудования [3].

Таким образом, приоритетами для развития белорусской деревообработки на ближайшее пятилетие в области энергосберегающих и экологически безопасных технологий является [4]:

– формирование «зеленой» экономики, базирующейся на энергосбережении, внедрении экологических технологий, возобновляемых и альтернативных источников энергии и эффективных технологий;

– максимальное вовлечение в процесс переработки мелкотоварной и низкокачественной древесины от лесозаготовки на арендных участках, а также отходов деревообработки для выпуска древесного топлива (гранул и брикетов);

– использование наилучших доступных технических методов, передовых технологий, достижений науки и техники при возведении новых и реконструкции действующих производств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Перетрухин В.В, Чернушевич Г.А, Босак В.Н. Радиационный контроль древесного топлива для энергетических установок на примере ОАО «Ивацевичдрев» // Лесная и деревообрабатывающая промыш-

ленность. Труды БГТУ. 2015. № 2 (175). С. 202-205.

2. Программа развития деревообрабатывающего и мебельного производства концерна «Беллесбумпром» на период до 2025 года. Минск 2020.-69с.

3. Устойчивое развитие Республики Беларусь на принципах «зеленой» экономики: национальное У 79 сообщение/ НИЭИ М-ва экономики Респ. Беларусь. - Минск, 2012. – 53 с.

4. Государственная программа «Энергосбережение на 2016-2020 годы». Постановление Совета Министров Республики Беларусь № 248 от 28.03.2016.

УДК 684.4.07:543.92

Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук;
Е.И. Гордиевич, преподаватель-стажер;
В.О. Куневич мл. науч. сотр. (БГТУ, г. Минск);
Л.Г. Билаш, магистр техн. наук, преп.
(Гомельский государственный политехнический колледж)

ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЙ МЕТОД ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА МЯГКОЙ МЕБЕЛИ

Мягкая мебель – собирательное название комфортабельных мебельных изделий для сидения и лежания. Она выполняет ряд функций: создает уют, обеспечивает оптимальные условия для комфортного обитания человека, а также отражает его эстетические вкусы, гармонично дополняя интерьер помещения [1, 2]. Основные требования к мягкой мебели определяются ее комплексными оценками качества, то есть конструктивно-размерными факторами, технико-эко-номическими, физико-механическими, химическими, эстетическими и другими показателями, предъявляемыми в период ее эксплуатации и регламентируемыми ГОСТ.

Одним из видов оценки качества является аналитический метод органолептического анализа, который основан на количественной оценке показателей качества. К аналитическим относят методы парного сравнения, треугольный, дуо-трио, ранговый, балловый и др. Органолептический метод – метод определения показателей качества изделия на основе анализа восприятий органов чувств [3].

На рисунке 1 представлена органолептическая информация оценки качества мягкой мебели.

Зрительное восприятие – это процесс, который начинается с наших глаз. Первое, на что обращает внимание потребитель - это внешний вид изделия. Чем красивее и эстетически совершенной будет мебель, тем выше будут ее количественные показатели.



1 – зрительная, 2– звуковая, 3 – обонятельная, 4– тактильная

Рисунок 1 – Органолептическая информация

Обонятельная информация – это информация, которую человек получает с помощью органа обоняния. Если мебель будет иметь ярко выраженный химический запах, это доставит дискомфорт потребителю. Количественный показатель снизится.

Звуковая информация – информация, которую мы слышим. В мебели к ней можно отнести скрип, присутствие которого во время использования будет раздражать и мешать спать.

Тактильная информация – информация, которую человек воспринимает наощупь. В мягкой мебели главным источником такой информации является материал обивки его деформация или упругость. Органолептика в мягкой мебели производится по объективным оценкам (баллам) показателей комплекса качества [4].

Например, показатели комфортабельности характеризуют удобство эксплуатации и ухода за изделием. По этому показателю изделия оценивают путем сравнения их функциональных размеров с размерами, предусмотренными стандартами, а также органолептически в баллах в соответствии с показателями комфортабельности. Сопоставление оценки каждого из показателей и их суммы позволяет оценивать комфортабельность изделий. Эстетические показатели характеризуют соответствие формы и внешнего вида мебельных изделий современным требованиям – пропорциональное соотношение между отдельными элементами, хорошо вписываться в помещение и сочетаться с другими предметами интерьера, функциональные и декоративные элементы должны быть подобраны по размерам, рисунку, цвету ткани. Эстетические показатели, так же оценивают органолептически в баллах. Показатели комфортабельности и эстетичности в баллах представлены в таблице 1 [4].

Таблица 1 – Показатели комфортабельности и эстетичности мягкой мебели

Наименование показателей	Категории оценок качества, баллы	
	высшей	первой
<i>Показатели комфортабельности</i>		
Удобство пользования	18–17	16–9
Удобство ухода за изделием	6–5	4–3
Удобство размещения в помещении	6–5	4–3
Итого	30–27	24–15
<i>Эстетические показатели</i>		
Форма	15–14	13–7
Цвет, фактура, рисунок	9–8	7–5
Гармоничность фурнитуры в изделии	6–5	4–3
Итого	30–27	24–15

Изделия мебели высшей категории качества должны иметь оценку в сумме по каждой из таблиц не менее 27 баллов, а изделия, изготовленные без применения фурнитуры, выходящей на поверхность – не менее 22 баллов по эстетическим показателям [4]. Все оценки аттестуемого изделия должны находиться в пределах одной категории. Таким образом среди аналитических методов можно выделить группы качественных и количественных различительных тестов.

Методы качественных различий позволяют ответить на вопрос, есть ли разница между оцениваемыми образцами по одному из показателей качества (запаху, внешнему виду, ортопедическим свойствам) или общему впечатлению о качестве, но не отвечают на вопрос, какова разница между образцами.

Количественный тест устанавливают с учетом назначения и конструкции изделия, степени сложности исполнения и требований потребителя. Например, эстетические показатели оцениваются в сравнении с лучшими отечественными и зарубежными образцами мебели по сумме баллов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Мягкая мебель: основные виды и особенности конструкции. URL: [https // www. mukachevo. net> news> view](https://www.mukachevo.net/news/view) (дата обращения: 13.12.2021).
2. Барташевич А.А, Трофимов С.П. Конструирование мебели. Минск: Современная школа, 2006.335с.
3. Органолептика // Википедия. URL: [https // ru. wikipedia. org> wiki> Органолептика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Органолептика) (дата обращения: 13.12.2021).
4. ГОСТ 16371-84 Мебель. Общие технические условия. Дата введения: 01.01.1986 Дата отмены: Заменен на: ГОСТ 16371-93 Код ОКС: 97.140, 97.040.10

УДК 674.02

В.Н. Гаранин, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВИБРАЦИОННОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Повышение износостойкости дереворежущего инструмента является актуальной задачей для деревообработчиков, поскольку увеличение объемов выпускаемой продукции из древесины ведет к увеличению объемов используемого инструмента. При рассмотрении вопроса повышения износостойкости следует обратить внимание на то обстоятельство, что в отличие от металлов, разрушение древесины происходит напряжениями сжатия, что обуславливает работу дереворежущего инструмента на высоких скоростях резания.

Анализируя современные конструкции дереворежущего инструмента, можно отметить широкое распространение различных упрочняющих технологий, позволяющих повысить износостойкость инструмента до 50 процентов. Для обработки новых материалов производители инструмента предлагают все новые и новые виды упрочняющих покрытий и хитрые конструктивные решения, позволяющие повысить качество и производительность процесса обработки древесины и древесных материалов. При таком бурном развитии технологий, деревообработчикам все труднее и труднее правильно выбрать инструмент (какую конструкцию и с каким упрочнением).

Использование технологий упрочнения, нашедших широкое распространение в металлообработке и которые многие учёные пытаются использовать на дереворежущем инструменте, по результатам многочисленных экспериментов оказываются недостаточно эффективными. Для решения данной проблемы в работе предлагается уделить внимание изучению влияния динамических нагрузок на упрочняющие покрытия с разработкой способов изменения отрицательных факторов. В частности, предлагается рассмотреть опыт в использовании полезных вибраций.

Изучению вибрационного резания древесины уделено внимание различными исследователями, которые занимались изучением способов деления древесных материалов. Так, в работе [1] рассматривалось открытое прямолинейное резание, когда главное движение лезвия относительно неподвижной заготовки складывается из двух движений: поступательного с постоянной скоростью и возвратно-поступательного (колебательного) с переменной скоростью, изменяющейся по синусоидальному закону.

Большинство исследований вибраций при резании изотропных материалов выполнено на основе упрощенных структурных схем. Чаще изучение вибраций проводят на основе исследования влияния отдельных первичных параметров на их интенсивность и результаты обработки. Так, в работе [2] выполнены исследования интенсивности вибраций как с учетом влияния особенностей процесса трения только на контактных поверхностях, так и с учетом особенностей пластического деформирования при врезании и выходе инструмента и с учетом процесса наростообразования.

Рассматривая зарубежный опыт изучения вибраций при резании различных материалов (для примера, рассмотрев работы [3-5] и др.) можно акцентировать внимание на изучение как вредных, так и полезных вибраций. Однако общий анализ работ удобно представить в виде схемы, которая представлена на рисунке 1. Рисунок 1 показывает, что изучению полезных вибраций при резании различных материалов уделяется большое внимание зарубежными исследователями. Наблюдается постоянный поиск новых методов снижения сил резания, оказывающих большое влияние на стойкость инструмента (особенно при ударных нагрузках).

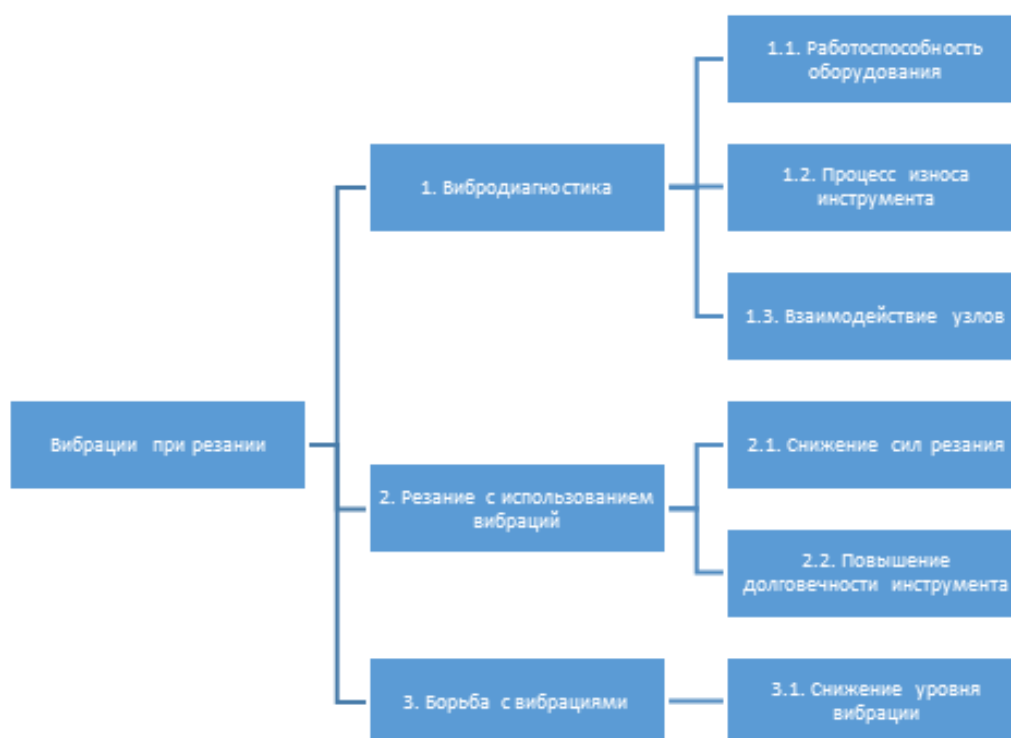


Рисунок 1 – Зарубежный опыт в изучении вибраций при резании материалов

На основании анализа исследований вибраций, предлагается выделить следующие факторы, определяющие полезное влияние вибраций на

процесс разрушения древесины: снижение сил резания, повышение стойкости инструмента и повышение качества обработки. Данные факторы и будут определяющими при определении рациональности использования технологии вибрационного резания древесины.

Таким образом, использование вибраций инструмента при дроблении древесины на щепу в деревообрабатывающем оборудовании позволяет влиять на динамику резания древесины, что положительно сказывается на результатах использования инструментальных материалов с низкой ударной вязкостью для изготовления дереворежущего инструмента.

Данная технология открывает возможности использования для изготовления ножей к рубительным машинам таких материалов как белые чугуны и твердые сплавы, обладающие относительно высокими износостойкими характеристиками.

ЛИТЕРАТУРА

1. Любченко В.И. Резание древесины и древесных материалов: Учебное пособие для вузов. – М.: Лесная пром-сть, 1986. – 296 с.
2. Волков С.А. Влияние динамических нагрузок на прочность и реологическое поведение твердых тел / С.А. Волков // Синергетика и методы науки. – СПб.: Наука, 1998. – 155 с.
3. Szwajka, K. Evaluation Tool Condition of Milling Wood on the Basis of Vibration Signal / K. Szwajka J. Górski // Journal of Physics: Conference Series 48, 2006. – с 1205–1209
4. Gwo-Lianq Chern. Using workpiece vibration cutting for micro-drilling / Gwo-Lianq Chern, Han-Jou Lee // Int J Adv Manuf Technol, 2006. – с. 688–692
5. Tratar, J. Tool wear in terms of vibration effects in milling medium-density fibreboard ith an industrial robot / Tratar J., Pusavec F., Kopac J. // Journal of Mechanical Science and Technology 28 (11), 2014, – с 4421-4429

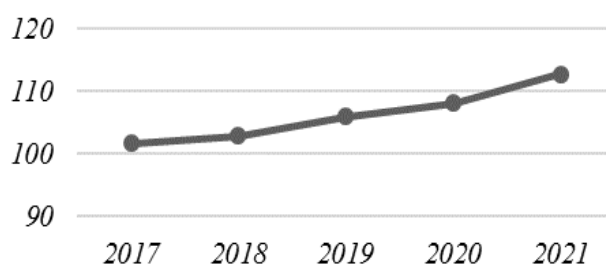
УДК 339.133.017:684(476)

Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук;
Е.И. Гордиевич, преп.-стажер (БГТУ, г. Минск)

ОЦЕНКА ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ПОКУПАТЕЛЬСКОГО СПРОСА НА МЕБЕЛЬ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Покупательский спрос – это социально-экономическая категория, выражающая общественные потребности, представленные на рынке деньгами [1]. Рынок мебели считается весьма привлекательным с точки зрения динамики роста и потенциального спроса.

К одному из основных факторов, оказывающему немалое влияние на спрос мебельных изделий, можно отнести ценовой фактор.

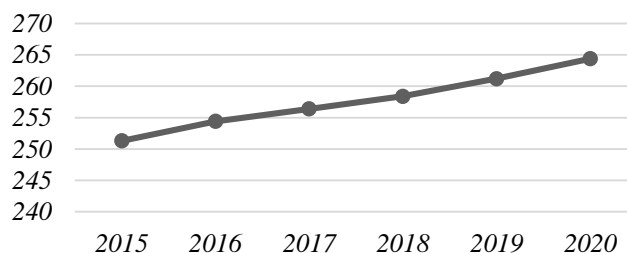


**Рисунок 1 – Индекс цен на мебель
(в процентах к предыдущему году)**

Как видно из графика на рисунке 1 цены на мебель с 2017 до 2021 года увеличились на 11,09 % и за последние пять лет снижения цен не отмечается. Если рассмотреть рост цен более детально по категориям мебели, то можно отметить, что за этот период больше всего выросли цены на гарнитур кухонный – на 15%, стулья – на 13,72%, столы письменные и компьютерные – на 13,24 %. Меньше всего цены изменились на набор мебели для спальни – на 5,84%. В целом цены на корпусную и мягкую мебель изменялись практически одинаково [2].

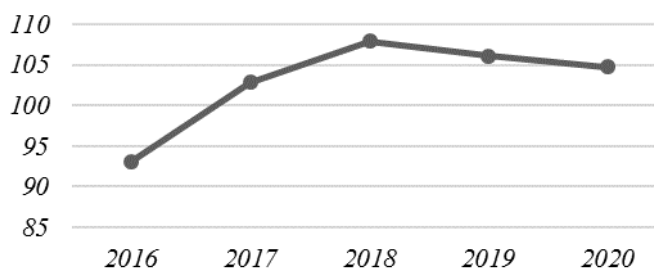
Ко второму фактору спроса можно отнести рост жилищного фонда. По графику на рисунке 2 видно, что общий жилищный фонд с каждым годом растет и в 2020 году составил 264,4 млн.кв.м, что на 5,1% больше, чем в 2015 году [2]. Этот прирост будет способствовать увеличению приобретаемых изделий мебели.

Еще одним важным фактором, влияющим на спрос мебели, является реальная заработная плата, от которой зависит большинство покупок. Реальная заработная плата - заработная плата, исчисленная как совокупность благ, потребительских товаров и услуг, которые можно на нее приобрести [1].



**Рисунок 2 – Жилищный фонд
(на конец года; млн кв.м общей площади)**

Рост реальной заработной платы отмечался с 2016 по 2018 год, а с 2018 года отмечается ее снижение (рис.3). Можно предположить, что спрос на мебель тоже будет снижаться, так как эта группа товаров не является предметом первой необходимости либо же будет востребована в большей степени мебель эконом-сегмента.



**Рисунок 3 – Реальная заработная плата
(в процентах к предыдущему году)**

Покупателей можно разграничить по классам: «эконом-класс», «средний класс» и «элит-класс». Для представителей «эконом-класса» при выборе мебели первичным является ее цена, качество при этом остается второстепенным фактором. Представители среднего класса уже обращают внимание на соотношение цены и качества, а также на дизайн. Потребители элитной мебели претендуют на эксклюзивность и высокое качество продукции. При этом цена для них имеет второстепенное значение.

Белорусский мебельный магазин провел маркетинговое исследование покупателей мебели в эконом-сегменте. Результаты исследования дают представление о том, как меняются запросы покупателей мебели на товар, на что они обращают внимание при выборе мебели, какие инструменты ускоряют процесс принятия решения о покупке [3].

Как видно из диаграммы на рисунке 4 фактор цены по-прежнему оказывает значительное влияние на принятие решения о покупке.

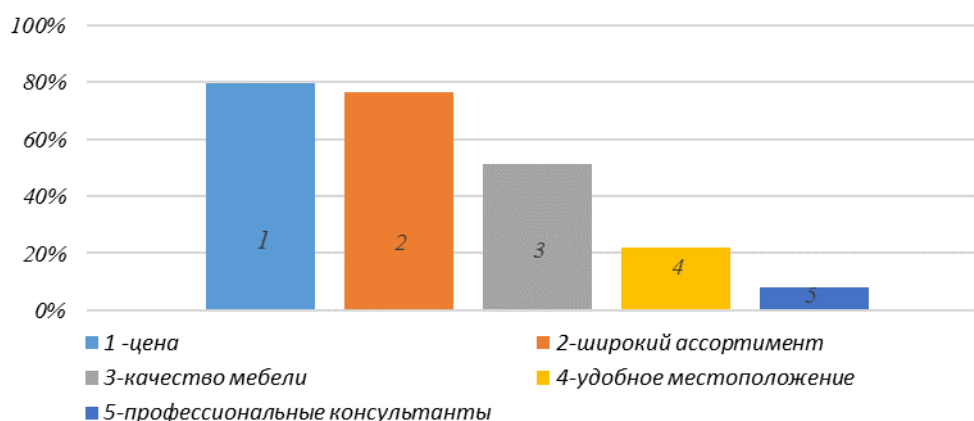


Рисунок4 – Факторы, влияющие на решение о покупке мебели

Таким образом изучение основных факторов, определяющих поведение потребителей будет способствовать компаниям лучше приспособливаться к требованиям потребителя и действовать на рынке более эффективно. Какие из них считать наиболее важными для себя, может определить только само предприятие.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов, А.Б. Большой экономический словарь / А.Б Борисов. М.: Книжный мир, 2003.895 с.
2. Статистический ежегодник /Нац. статист. ком. Респ.Беларусь. Минск: Гос. ком. по и имуществу Респ. Беларусь, 2021.407с.
3. Что сегодня важно покупателю мебели в Беларуси? Результаты исследования [Электронный ресурс] // URL: [https:// belretail.by / article / _что-segodnya-vajno-pokupatelyu-mebeli-v-belarusi-ezultatyi](https://belretail.by/article/_что-segodnya-vajno-pokupatelyu-mebeli-v-belarusi-ezultatyi) (дата обращения: 25.12.2021).

УДК 678.632:674-419.3

И.К. Божелко, канд. техн. наук, доц.;
 О.К. Леонович, канд. техн. наук, доц.;
 А.И. Медвецкий, магистрант; Д.В. Божко, студ. (БГТУ, г. Минск);
 А.Н. Гончар, канд. техн. наук, зам. директора по науч. раб.
 (СООО «СинерджиКом», г. Минск)

МОДИФИКАЦИЯ ФЕНОЛФОРМАЛЬДЕГИДНЫХ СМОЛ ДЕПОЛИМЕРИЗОВАННЫМ ГИДРОЛИЗНЫМ ЛИГНИНОМ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ФАНЕРЫ

Целью работы является: изучение влияния модификации фенолформальдегидных смол деполимеризованным гидролизным лигнином на физико-механические и экологические свойства фанеры.

Для приготовления растворов клеев к смоле СФЖ 3014 по ГОСТ 20907-2016 добавлялись лигниновые модификаторы производства СООО «СинерджиКОМ» в товарной концентрации 35 масс.%. Добавки на основе деполимеризованного гидролизного лигнина (реагент «S-Drill™BND 95» и реагент «S-Drill™ CL») добавлялись в количестве 33% к раствору фенолформальдегидной смолы СФЖ 3014.

Рецептура растворов представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Рецептуры растворов

№ п/п	Наименование смолы	Масса смолы, г	Наименование добавки 35 % раствора	Масса добавки, г
1	СФЖ 3014	100	–	–
2	СФЖ 3014	67	S-Drill™BND 95	33
3	СФЖ 3014	67	S-Drill™ CL	33

Для склеивания пятислойной водостойкой фанеры были отобраны листы шпона по ГОСТ 3916.1-2018 размером: 320×320 мм и влажностью шпона 6±2 %.

Склеивание пакетов шпона производилось в автоматическом гидравлическом прессе ПСУ-50. Прессование фанеры происходило поэтапно: формирование необходимого давления в 2 МПа; прессование фанеры производится при температуре 125°С и давлении 2 МПа; снижение давления производится в 3 этапа.

Отбор образцов, их количество, изготовление и подготовка к испытаниям проводили по ГОСТ 9620-94.

Результаты определения влажности, плотности, влагопоглощения, водопоглощения, объёмного разрушения, предела прочности при скалывании, содержания формальдегида газовым методом представлены ниже.

Влажность образцов находилась в пределах требований ГОСТа – $6\pm 2\%$. Плотность образцов составила 800 кг/м^3 .

Испытания на влагопоглощение проводились в эксикаторе над насыщенным раствором соды. Результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты испытаний влагопоглощения

Наименование смолы	№ образца	Начальная масса, г	Масса на 1-ый день после увлажнения, г	Масса на 2-ой день после увлажнения, г	Масса на 3-ий день после увлажнения, г	Масса на 5-ый день после увлажнения, г	Влагопоглощение, %
СФЖ-3014	1	1,836	1,9698	2,0156	2,0695	2,0746	13,05
	2	1,945	2,0844	2,1309	2,1850	2,2009	
СФЖ-3014 + S-Drill™ BND95	1	2,065	2,2343	2,2799	2,3328	2,3487	12,34
	2	2,123	2,2340	2,2791	2,3406	2,3561	
СФЖ-3014+ S-Drill™ CL	1	2,006	2,1525	2,1956	2,2464	2,2657	13,74
	2	1,789	1,9166	1,9603	2,0032	2,0493	

В результате исследований установлено, что наименьшее поглощение влаги – $12,34\%$, показал образец фанеры с реагентом «S-Drill™ BND95», что на $6,5\%$ ниже образца фанеры склеенной смолой СФЖ- 3014.

При испытаниях образцов фанеры на водопоглощение образцы помещались в эксикатор с дистиллированной водой.

Водопоглощение образцов, содержащих реагент «S-Drill™ BND95» и реагент «S-Drill™ CL», незначительно увеличилось по сравнению с образцами, полученных только со смолой СФЖ-3014.

Образцы фанеры, пропитанные смолой СФЖ-3014 и смолой СФЖ-3014 с добавками «S-Drill™ BND95» и «S-Drill™ CL» исследовались на объемное разбухание. Результаты приведены в табл. 3.

Результаты объемного разбухания доказывают эффективность добавок «S-Drill™ BND95» и «S-Drill™ CL», т.к. объемное разбухание снизилось в сравнении с СФЖ-3014 на $6,2$ и $10,8\%$.

Образцы фанеры, пропитанные смолой СФЖ-3014 и смолой СФЖ-3014 с добавками «S-Drill™ BND95» и «S-Drill™ CL» исследовались на предел прочности при скалывании по клеевому шву.

Предел прочности ГОСТ 20907-75 при скалывании по клеевому слою фанеры после кипячения в воде в течении 1 ч должен составлять не менее $1,47 \text{ МПа}$. Образцы с использованием реагента «S-Drill™ BND95» составили $1,93 \text{ МПа}$, что на $31,3\%$ больше, образцы с реагентом «S-Drill™ CL» составили $1,86 \text{ МПа}$, что на $26,5\%$ больше.

Таблица 3 – Результаты испытаний объёмного разбухания

Наименование смолы	№ образца	Толщина образца, см	Ширина образца, см	Длина образца, см	Толщина образца после увлажнения, см	Ширина образца после увлажнения, см	Объёмное разбухание, %
СФЖ-3014	1	6,18	5,30	8,0	8,00	5,85	42,88
	2	6,19	4,45	8,0	8,00	4,90	42,31
СФЖ-3014+ S-Drill™ BND95	1	6,44	5,24	8,1	7,41	6,49	42,51
	2	6,45	5,50	8,1	7,45	6,72	41,12
СФЖ-3014+ S-Drill™ CL	1	6,47	4,28	8,0	7,49	5,19	40,39
	2	6,41	4,40	8,0	7,38	5,30	38,68

Особенно важные результаты получены при определении параметра по выделению формальдегида, при испытании газовым методом в газовой камере GA -4m1E.nt. При испытании составов, содержащих реагент «S-Drill™ BND95», эмиссии формальдегида не происходило, это означает что мы получаем фанеру класса эмиссии формальдегида E0.

Заключение

Применение рецептур содержащих реагент «S-Drill™ BND95» и реагент «S-Drill™ CL» позволяют уменьшить влагопоглощение на 12,34% для S-Drill™ BND95 и на 6,5 % для S-Drill™ CL, уменьшить объёмное разбухание на 6,2% для S-Drill™ BND95 и на 10,8 % для S-Drill™ CL, увеличить предел прочности на 31,3 % для S-Drill™ BND95 и на 26,5 % для S-Drill™ CL. Также основным достоинством использования деполимеризованного гидролизного лигнина является отсутствие эмиссии формальдегида, что позволяет получить фанеру класса эмиссии E0.

Таким образом, модификации фенолформальдегидных смол деполимеризованным гидролизным лигнином в производстве фанеры повышенной водостойкости весьма перспективное направление, позволяющее выпускать фанеру повышенной прочности и высокой экологической безопасности.

УДК 674.914:674.338

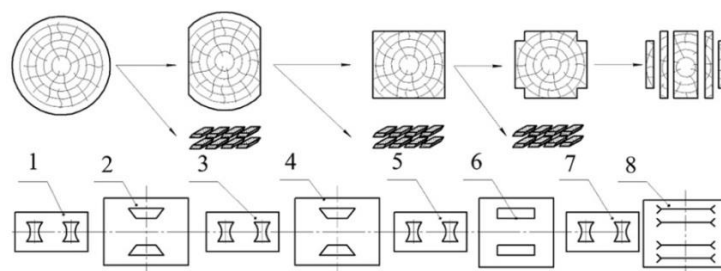
И.К. Клепацкий, ассист.;
В.В. Раповец, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ РАДИУСА ОКРУГЛЕНИЯ РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ НОЖА ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩЕГО СТАНКА НА КАЧЕСТВО ТОРЦЕВОГО СРЕЗА ЭЛЕМЕНТА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЩЕПЫ

Высокая производительность лесопильных линий по переработке тонкомерной древесины на пилопродукцию и технологическую щепу в большей степени определяется износостойкостью фрезерного инструмента. Технологическая стойкость фрезерного инструмента зависит от режимов обработки древесины, конструкции корпусов фрез, материала режущих элементов, их геометрических параметров, физического состояния обрабатываемой древесины (порода, температура, влажность, сучковатость и т.д.).

Технологическая щепка как сырье для многих видов производств должна соответствовать требованиям, предъявляемым к ней потребителем. Наиболее существенное влияние на качественные показатели продукции, получаемой из щепки, оказывают ее геометрические размеры. Согласно ГОСТ 15815 торцы щепки должны быть без мятых кромок. В рамках данного исследования была возможность визуально оценить какое влияние оказывает изменение радиуса округления режущей кромки на качество технологической щепки.

Технологическая схема получения щепки представлена на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Технологическая схема получения щепки
на фрезерно-брусующей линии LINK V25**

Цепной транспортер 1 подает окоренное бревно в узел первого прохода 2, предназначенный для получения 2-кантного бруса и технологической щепки. Далее цепной транспортер 3 подает сформированный 2-кантный брус в узел второго прохода 4, предназначенный для получения 4-кантного бруса и технологической щепки. После цепной транспортер 4 загружает брус в профилирующий узел (профилятор) 6,

предназначенный для получения ступенчатого бруса и увеличения объемного выхода пиломатериалов из пиловочного сырья. Последняя операция происходит после загрузки цепным транспортером 7 пиломатериала в виде ступенчатого бруса в 2-х вальный пильный агрегат 8.

Для оценки влияния износа режущей кромки ножа на качества торцевого среза технологической щепы промышленные испытания проводились на экспериментальной партии ножей из стали 6ХС, подвергнутых магнитно-импульсной упрочняющей обработке с величиной энергии 8 кДж, на фрезерно-брусующей линии LINK V25. Обе малоножевые сборные торцово-конические фрезы (левая и правая) станка были оснащены тремя сборными модифицированными ножами со следующими геометрическими параметрами: угол заточки длинного лезвия 36° , угол заточки короткого лезвия 36° , угол наклона кромки длинного лезвия ножа $+30^\circ$, угол наклона кромки короткого лезвия ножа $+0^\circ$. Сборные ножи были подготовлены следующим образом: радиус округления режущих кромок составил 4–6 мкм; выставлены в корпусе фрезы с необходимым смещением при помощи специального шаблона и поверенного набора концевых мер.

Исходные данные для выполненных исследований были приняты следующие: объём обработанной древесины хвойных пород составил 2100 м^3 (по породному составу 95% сосна обыкновенная, 5% ель обыкновенная); частота вращения торцово-конических малоножевых фрез 1090 мин^{-1} ; древесина обрабатывалась на скорости подачи линии 25 м/мин; время работы режущего инструмента без переподготовки составило 40 ч (в течение 5 рабочих смен).

С целью исследования качества торцевого среза щепы в зависимости от состояния режущей кромки дереворежущего фрезерного инструмента были собраны образцы элементом щепы из 5 смен работы инструмента фрезерно-брусующего станка линии. Для проведения работ на микроскопе были отобраны образцы элементов технологической щепы, советующие ГОСТ 15815, линейные размеры контролировались штангенциркулем с точностью $\pm 0,1 \text{ мм}$.

На рисунке 2 представлена зависимость радиуса округления режущей кромки ρ , мкм, от пройденного суммарного пути резания Σl , м.

Из представленных макрофотографий состояния образцов торца элементов технологической щепы в зависимости от радиуса округления режущей кромки, представленных на рисунке 2 видно, что радиус округления режущей кромки ножа во многом определяет качество торцевого среза элемента технологической щепы.

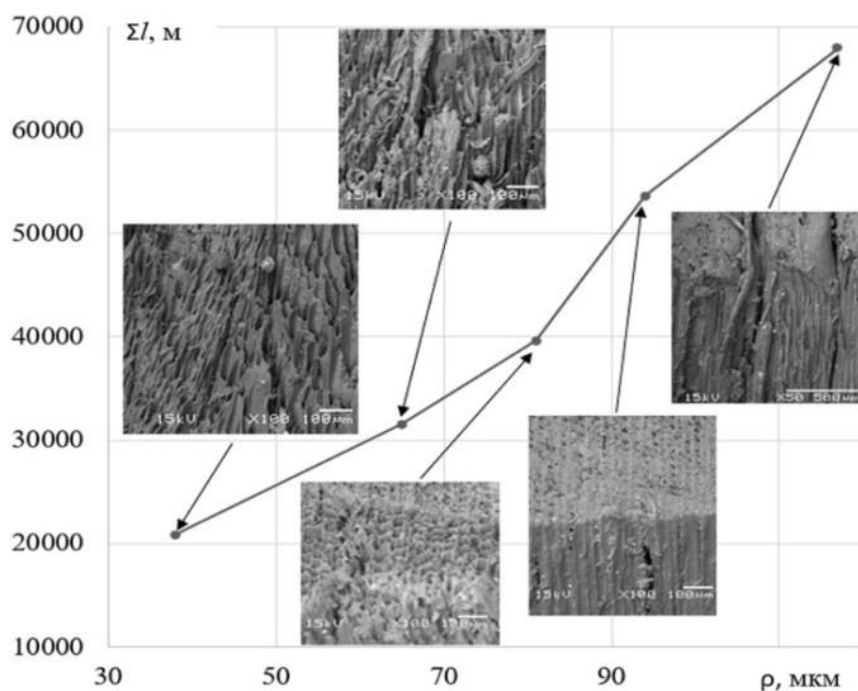


Рисунок 2 – Зависимость радиуса округления режущей кромки от пройденного суммарного пути резания с макрофотографиями торцевого среза технологической щепы

С увеличением радиуса округления режущей кромки ножа структура среза торца щепы становится более заглаженная (закрыта) и при достижении критического ее значения торцевой срез полностью закрыт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клепацкий И.К., Раповец В.В. Динамика потери режущей способности лезвий малоножевых фрез при агрегатной переработке древесины // Труды БГТУ. 2019. № 2: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 298-303.
2. Раповец В.В. Комплексная обработка древесины фрезами со спиральным расположением сборных двухлезвийных ножей, обеспечивающая качество продукции и снижение энергозатрат: дис. канд. техн. наук. Минск, 2011. – 206 с.

УДК 674.047

О.Г. Рудак, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДИК ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ НАЧАЛЬНОГО ПРОГРЕВА ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ

На сегодняшний день среди предприятий лесной и деревообрабатывающей промышленности отмечается повышенный интерес к современным технологиям в области лесопереработки, в особенности, к технологиям камерной сушки древесины.

Современная технология сушки пиломатериалов представляет собой целый комплекс инструментов оптимизации производственных процессов: энергосберегающие конструкции камер, тепловое оборудование и вентиляторы, системы увлажнения обрабатываемого агента, автоматические программы управления параметрами режима сушки, которые с высокой точностью позволяют смоделировать весь процесс сушки и отказаться от непосредственного замера влажности древесины в сушильной камере. Кроме этого, современные автоматические системы управления контролируют не только непосредственно сам сушильный процесс, но и интегрируют участок сушки в общую технологическую схему производства, что позволяет скоординировать его со сканерами для лесо- и пиломатериалов, сортировочными комплексами и другим оборудованием, установленным на предприятии.

Известно, что сушка предварительно непрогретых пиломатериалов может привести к нарушению целостности поверхностных слоев. Следовательно, первой и необходимой технологической операцией перед сушкой является начальный прогрев. Начальный прогрев проводится с целью доведения температуры древесины до уровня температуры сушильного агента.

Исследования в области сушки и тепловой обработки древесины показывают, что проведение начального прогрева материала в ненасыщенной среде в большинстве случаев позволяет уменьшить расход энергии без снижения качества обрабатываемого материала. По этой причине в последнее время все чаще практикуется проведение прогрева с применением режимов, предусматривающих использование обрабатываемого агента с относительной влажностью менее 95%. Очевидно, что при использовании таких режимов продолжительность прогрева будет отличаться от определенной традиционными методами.

Для определения продолжительности операции начального прогрева пиломатериалов в ненасыщенной среде были проведены исследования [1], по результатам которых были получены графические зависимости изменения температуры и влажности поверхностных и внутренних слоев образцов во времени, которые характеризуют кинетику начального прогрева, а также математические модели прогнозирования продолжительности прогрева, учитывающие как параметры обрабатываемой среды (в особенности степень насыщенности ϕ), так и параметры прогреваемого материала.

Для условий эксперимента при начальной влажности пиломатериалов $W_{\text{нач}} > 30\%$ и их начальной температуре $t_0 > 0^\circ\text{C}$ математическая модель имеет следующий вид:

$$\tau = 1973,6 - 1,464 \cdot T - 2,099 \cdot S - 4039,1 \cdot \phi + 0,052 \cdot T \cdot S - 2,395 \cdot S \cdot \phi - 0,895 \cdot T \cdot \phi + 0,03325 \cdot T^2 + 0,076 \cdot S^2 + 2446 \cdot \phi^2 \quad (1)$$

где t – температура обрабатываемой среды, $^\circ\text{C}$; ϕ – степень насыщенности обрабатываемой среды, %; S – толщина пиломатериалов, мм.

Также был проведен сравнительный анализ продолжительности начального прогрева, определенного с использованием разработанной регрессионной модели и с использованием методик, которые применяются при определении продолжительности данной операции в производственных условиях.

Первая из этих методик, несмотря на свою примитивность, наиболее широко используется в практике сушки. В соответствии с этой методикой продолжительность начального прогрева ориентировочно принимают равной для мягких хвойных пород – 1,5 ч на каждый сантиметр толщины пиломатериалов. Для мягких лиственных пород это время увеличивают на 25%, для твердых лиственных пород – на 50%, т. е. $\tau_{\text{нп. хв.}} = 1,5 \cdot S$, $\tau_{\text{нп. м. листв.}} = 1,5 \cdot S \cdot 1,25$, $\tau_{\text{нп. тв. листв.}} = 1,5 \cdot S \cdot 1,5$.

Вторая методика заключается в определении продолжительности прогрева табличным методом по формуле:

$$\tau_{\text{нп}} = \tau_{\text{инп}} \times A_t \times A_w \times A_{\text{п}} \times A_{\text{ш}} \quad (2)$$

где $\tau_{\text{инп}}$ – исходная продолжительность начального прогрева, определенная для сосновых пиломатериалов влажностью 60%, имевших начальную температуру от 0 до $(-20)^\circ\text{C}$ и уложенных в штабель шириной 1,8 м при температуре обрабатываемой среды 80°C и психрометрической разности 1°C ; A_t , A_w , $A_{\text{п}}$, $A_{\text{ш}}$ – коэффициенты, учитывающие соответственно начальную температуру древесины и температуру обрабатываемой среды, категорию режима сушки, скорость циркуляции сушильного агента, влажность и породу древесины, ширину штабеля.

Таблица 1 – Результаты определения продолжительности прогрева пиломатериалов различными методами

№	Исходные данные для определения продолжительности прогрева			Продолжительность начального прогрева τ , мин, определенная			
	T , °С	S , мм	ϕ	экспериментальным путем	с использованием разработанной модели	по методике приблизительного расчета	табличным методом
1	80	60	0,9	633	619	540	194
2	40	60	0,9	439	404	540	171
3	80	20	0,9	359	370	180	76,5
4	40	20	0,9	268	269	180	67,5
5	80	60	0,7	677	687	540	194
6	40	60	0,7	484	498	540	171
7	80	20	0,7	382	400	180	76,5
8	40	20	0,7	312	310	180	67,5
9	80	40	0,8	468	447	360	133
10	40	40	0,8	322	340	360	117
11	60	60	0,8	556	538	540	171
12	60	20	0,8	294	287	180	67,5
13	60	40	0,9	202	196	360	117
14	60	40	0,7	429	451	360	117

Анализируя данные, приведенные в таблице, легко заметить, что значения, полученные с использованием математической модели очень близки к экспериментальным данным, что еще раз подтверждает адекватность регрессионной зависимости. В то же время, продолжительности начального прогрева, полученные с использованием общепринятых методик, не только существенно отличаются от экспериментальных данных, но и вдвое, и даже в некоторых случаях и больше, разнятся между собой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудак О.Г. Исследование влияния технологических параметров на продолжительность начального прогрева // Материалы XIX Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса», Вологда, 7 декабря 2021 г., С. 352-355.

УДК 674.047

О.Г. Рудак, ст. преп. (БГТУ, г. Минск)

ПРОГРЕВ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ КАК ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ФИТОСАНИТАРНОЙ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

На сегодняшний день развитие международной торговли неразрывно связано с выполнением международного стандарта по фитосанитарным мерам ISPM 15.

В рамках данного документа предусмотрена фитосанитарная обработка деревянных изделий методом термообработки: «обеззараживание» древесины путем ее нагревания до +56 С с последующей выдержкой в 30 мин при данной температуре. Такой метод является хорошей альтернативой химическому обеззараживанию, и оказывает более щадящее воздействие на окружающую среду.

Вышеназванный метод применяется для деревянных поддонов, ящиков, кабельных катушек и др., которые нередко изготавливаются из свежей древесины, не прошедшей обработку, достаточную для того, чтобы удалить или уничтожить вредные организмы, содержащиеся в древесине.

Термообработку (маркировка НТ – Heat Treatment) можно проводить в сушильной камере для пиломатериалов. Сушильная камера может быть, как заводского изготовления (металлический утепленный корпус), так и построенная из строительных материалов (кирпич, блоки) и оснащенная современным оборудованием для сушки (нагрева) древесины. В качестве корпуса сушильной камеры также может быть использовано подходящее помещение с установленным оборудованием в нем.

Следует отметить, что немаловажным требованием к проведению фитосанитарной обработки методом НТ является наличие систем автоматизации процесса нагревания древесины и регистрации процесса обработки (т. е. электронный самописец записи данных температуры древесины в 4-х точках камеры).

Однако, в документе МСФМ 15-12 «Международная конвенция по карантину и защите растений» отсутствуют какие-либо сведения, описывающие параметры фитосанитарной термообработки: толщина и влажность древесины, степень насыщенности обрабатывающей среды.

При проведении начального прогрева древесины обязательными контролируемыми параметрами обрабатывающего агента являются:

- 1) температура T , °С;
- 2) степень насыщенности ϕ ;

3) психрометрическая разность Δt , °С.

Непосредственно для самих пиломатериалов основными параметрами являются:

- а) порода древесины;
- б) начальная влажность $W_{\text{нач}}$, %;
- в) начальная температура t_0 , 0°С;
- г) толщина древесины S , мм.

Также стоит отметить, что современные технологии сушки предполагают использование режимов начального прогрева, при которых степень насыщенности обрабатывающей среды $\varphi < 1$, разница показаний психрометра Δt не превышает 5°С, а температура прогрева устанавливается на уровне, не превышающем температуру сушки на первой ступени режима сушки. Как правило, это не более 70°С [1].

Следовательно, можно сделать вывод о том, что проведение фитосанитарной обработки методом НТ фактически является аналогом операции начального прогрева в производственном процессе сушки древесины.

Исследования влияния параметров технологии начального прогрева древесины в ненасыщенной среде на продолжительность нагревания позволили установить математическую зависимость продолжительности начального прогрева от степени насыщенности и температуры обрабатывающей среды, а также начальной температуры и влажности древесины.

Для планирования эксперимента по определению продолжительности операции начального прогрева применяли В-план второго порядка. В качестве функции отклика рассматривалась продолжительность достижения центральным слоем древесины температуры обрабатывающей среды. На основе экспериментальных данных были определены регрессионные зависимости функции отклика от зависимых и независимых факторов.

Математическая модель продолжительности прогрева в натуральных величинах имеет следующий вид [2]:

1) При начальной температуре древесины $t_0 > 0^\circ\text{C}$ и начальной влажности древесины $W_{\text{нач}} > 30\%$ (55-57%):

$$\tau = 1973,6 - 1,464 \cdot T - 2,099 \cdot S - 4039,1 \cdot \varphi + 0,052 \cdot T \cdot S - 2,395 \cdot S \cdot \varphi - 0,895 \cdot T \cdot \varphi + 0,03325 \cdot T^2 + 0,076 \cdot S^2 + 2446 \cdot \varphi^2 \quad (1)$$

2) При начальной температуре древесины $t_0 > 0^\circ\text{C}$ и начальной влажности древесины $W_{\text{нач}} < 30\%$ (27-29%):

$$\tau = 1418,6 - 4,4 \cdot T + 1,34 \cdot S - 2725,6 \cdot \varphi + 0,04975 \cdot T \cdot S - 6,0625 \cdot S \cdot \varphi - 1,25 \cdot T \cdot \varphi + 0,049 \cdot T^2 + 0,055 \cdot S^2 + 1760 \cdot \varphi^2 \quad (2)$$

3) При начальной температуре древесины $t_0 < 0^\circ\text{C}$ и начальной влажности древесины $W_{\text{нач}} < 30\%$ (27-29%):

$$\tau = 2072,0 - 2,17 \cdot T + 0,737 \cdot S - 4161,1 \cdot \varphi + 0,052 \cdot T \cdot S - 4,69 \cdot S \cdot \varphi - 1,85 \cdot T \cdot \varphi + 0,037 \cdot T^2 + 0,061 \cdot S^2 + 2490 \cdot \varphi^2 \quad (3)$$

4) При начальной температуре древесины $t_0 < 0^\circ\text{C}$ и начальной влажности древесины $W_{\text{нач}} > 30\%$ (55-57%):

$$\tau = 4076,0 - 6,15 \cdot T + 2,5 \cdot S - 8249,0 \cdot \varphi + 0,137 \cdot T \cdot S - 11,75 \cdot S \cdot \varphi - 5,15 \cdot T \cdot \varphi + 0,11 \cdot T^2 + 0,13 \cdot S^2 + 5010 \cdot \varphi^2 \quad (4)$$

Полученная зависимость позволяет прогнозировать продолжительность прогрева материалов при различных сочетаниях переменных факторов. Также, анализ полученных экспериментальных данных позволяет отметить следующее:

1) Наибольшее влияние на продолжительность прогрева оказывают: степень насыщенности обрабатываемой среды, температура агента сушки – чем выше температура среды и ниже φ , тем продолжительность прогрева больше.

2) Прогрев древесины с начальной температурой $t_0 < 0^\circ\text{C}$ показывает, что отрицательная начальная температура пиломатериалов оказывает значительное влияние на продолжительность прогрева.

3) Для расчета полного цикла продолжительности прогрева целесообразно использовать математическую модель, полученную эмпирическим путем, что модели позволит повысить достоверность определения точки завершения фитосанитарной обработки и тем самым не только сократить энергозатраты, но и избежать появления дефектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рудак О.Г. Исследование явления термовлагопроводности при прогреве древесины в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 2. С. 233–238.

2. Рудак О.Г. Исследование параметров технологии начального прогрева древесины в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 268–276.

УДК 674.093.6

А.А. Гришкевич, доц., канд. техн. наук;
С.А. Гриневич, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИИ ОСИ КОГТЕВОЙ ЗАВЕСЫ

Одним из факторов травматизма на деревообрабатывающих производствах является обратный вылет обрабатываемого материала или его элементов. Наибольший риск вылета характерен для деревообрабатывающих круглопильных станков для продольной распиловки натуральной древесины. С целью удержания заготовки или ее элементов в станке предназначены завесы из предохранительных упоров (когтевые завесы).

Основные требования к конструкции когтевых завес приведены в технических нормативных правовых актах. Одним из условий эффективной работы завесы из предохранительных упоров является прочность и жесткость ее элементов, и прежде всего оси, на которой подвижно уставлены предохранительные упоры. И если с точки зрения прочности нормативные документы определяют требования к ее материалу, то с точки зрения жесткости таких требований нет. В то же время деформация оси при восприятии ударной нагрузки может быть значительной. Это подтверждается опытом анализа конструкций круглопильного оборудования, на котором имели место несчастные случаи, связанные с обратным выбросом заготовок. Предохранительные упоры на таких станках зачастую проворачивались в обратную относительно направления подачи сторону, а ось когтевых завес имела существенную пластическую деформацию.

Рассмотрим состояние оси завесы, когда в наиболее удаленных волокнах начинает проявляться пластическая деформация (рисунок 1).

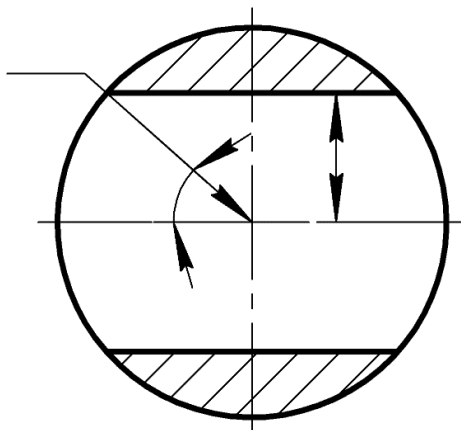


Рисунок 1 – Сечение оси

Зона начала пластической деформации обозначена координатой y_T . Напряжения в зонах пластической деформации достигли предела текучести σ_T и дальнейшего роста напряжений не происходит. Эпюра напряжений представлена на рисунке 2. Расчетная схема представлена на рисунке 3.

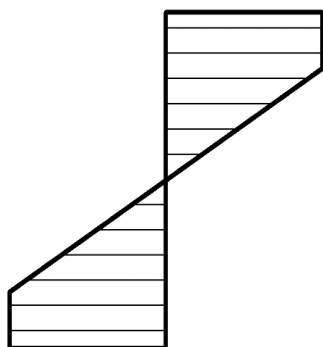


Рисунок 2 – Эпюра распределения напряжений

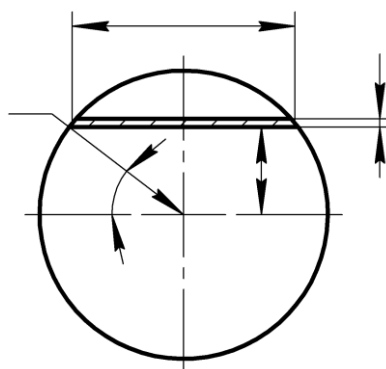


Рисунок 3 – Расчетная схема

Изгибающий момент в сечении можем записать как

(1)

Разобьем интеграл на два по зонам, соответственно для упругой и пластической составляющих

$$M = 2 \int_0^{y_T} \sigma \cdot b \cdot y \cdot dy + 2 \int_{y_T}^R \sigma_T \cdot b \cdot y \cdot dy. \quad (2)$$

Перейдем в полярную систему координат. Тогда

$$y = R \cdot \sin \varphi, \quad (3)$$

$$dy = R \cdot \cos \varphi \cdot d\varphi, \quad (4)$$

$$b = 2 \cdot R \cdot \cos \varphi. \quad (5)$$

Нижний предел интегрирования для первой зоны $\varphi_1=0$. Верхний предел интегрирования для первой зоны:

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{y_T}{R}. \quad (6)$$

Согласно [1] связь кривизны оси ρ с напряжением σ можно выразить следующим образом

$$\sigma = E \cdot \frac{y}{\rho}, \quad (7)$$

где E – модуль Юнга, МПа.

С учетом подстановок (3-7) для первого слагаемого можно записать:

$$M_1 = \frac{4E}{\rho} \cdot R^4 \cdot \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} \sin^2 \varphi \cdot \cos^2 \varphi \cdot d\varphi. \quad (8)$$

Проведя ряд преобразований и решив (8) с учетом пределов интегрирования получим:

$$M_1 = \frac{E \cdot R^4}{\rho} \left(\frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 4\varphi_2}{8} \right). \quad (9)$$

Нижний предел интегрирования для второй зоны будет равен φ_2 . Верхний предел интегрирования для второй зоны $\varphi_3 = \frac{\pi}{2}$. Для второго слагаемого с учетом подстановок (3-7) получим:

$$M_2 = 4 \cdot \sigma_T \cdot R^3 \cdot \int_{\varphi_2}^{\varphi_3} \cos^3 \varphi \cdot \sin \varphi \cdot d\varphi. \quad (10)$$

Проведя ряд преобразований и решив (9) с учетом пределов интегрирования получим

$$M_2 = \frac{4}{3} \cdot \sigma_T \cdot R^3 \cdot \cos^3 \varphi_2. \quad (11)$$

Таким образом суммарный момент в сечении

$$M = E \cdot \frac{R^4}{\rho} \cdot \left(\frac{\varphi_2}{2} - \frac{\sin 4\varphi_2}{8} \right) + \frac{4}{3} \cdot \sigma_T \cdot R^3 \cdot \cos^3 \varphi_2 \quad (12)$$

Величина φ_2 с учетом формул (6) и (7) также может быть выражена через радиус кривизны ρ .

$$\varphi_2 = \arcsin \frac{\sigma_T \cdot \rho}{E \cdot R}. \quad (13)$$

Таким образом получено выражение, устанавливающее взаимосвязь между изгибающим моментом M и радиусом кривизны изогнутой оси ρ в области упруго-пластической деформации, которое может быть использовано для расчетов деформации осей когтевых завес при работе за пределами закона Гука.

ЛИТЕРАТУРА

1. Феодосьев, В.И. Соппротивление материалов / В.И. Феодосьев – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит., 1963. – 540 с.

УДК 674.048

И.К. Божелко, канд. техн. наук, зав. кафедрой;
А.А. Коновалова, асп. (БГТУ, г. Минск)

ОТБЕЛИВАНИЕ КАК СПОСОБ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПИЛОПРОДУКЦИИ

Каждый год Республика Беларусь наращивает объемы экспорта продукции деревообработки. В связи с этим перед деревообрабатывающими предприятиями ставится задача увеличения выхода чистой, качественной древесины с минимальными затратами. Многие производители сталкиваются с такой проблемой как поражение древесины плесневыми и деревуокрашивающими грибами, которое обычно проявляется в виде посинения и почернения древесины. Это может быть связано факторами, создающими благоприятные условия для роста грибов:

- неправильная транспортировка, особенно при использовании морских путей с пересечением экватора;
- нарушение технологических регламентов и хранение пиломатериалов в ненадлежащих условиях (хранение без навесов под воздействием атмосферных осадков; хранение в непроветриваемом помещении и т.п.);
- использовании изначально пораженных грибами лесоматериалов.

В соответствии с СТБ 1713 «Пиломатериалы хвойных пород. Технические условия» заболонные грибные окраски и плесень не допустимы для отборного и первого сортов пиломатериалов, для 2-го – не более 10% площади пиломатериала, для 3-го – не более 50%.

Перед производителями стоит задача не допустить поражения пилопродукции грибами в процессе хранения и транспортировки. Для этого в Республике Беларусь чаще всего используются такие транспортные антисептики как Antiblu Select 3734, Sinesto В, Белмастер экотранс и др. Рабочие концентрации составов варьируются от 1,5% до 5% в зависимости от эффективности антисептика и требуемой продолжительности защиты. Так производитель Arch Timber Protection рекомендует для 1 месяца защиты использовать 2%-ую концентрацию Antiblu Select 3734, в то время как производитель Sinesto В компания BASF Wolman GmbH для того же периода защита рекомендует использовать 3%-ую концентрацию.

Для оценки эффективности транспортных антисептиков нами были проведены полигонные испытания по стандарту CEN / TS 15082.

Испытания проводились на образцах из древесины размерами 17×92×1000 мм. Образцы изготавливали из свежераспиленной заболони сосны обыкновенной, со средней влажностью образцов – 85%. Для проведения полигонных испытаний использовалась пропиточная ванна, подходящая для погружения пакетов древесины и весы, способные взвешивать с точностью до 1 г. Опоры под штабели и прокладки для разделения образцов древесины изготавливались из того же вида древесины, что и образцы для испытаний. Для хранения и обработки испытываемые образцы фиксировались крепежными лентами. Древесина подбиралась без трещин, пятен, гнилей, повреждений насекомыми и других дефектов. Перед проведением испытаний древесина не хранилась в воде, не плавала, не подвергалась химической обработке или пропарке. Испытание проводилось в течение 24 часов после подготовки образцов древесины. Половина образцов испытывалось в виде плотных пакетов, а половина – в открытом виде, с использованием прокладок. Для оценки поглощения раствора защитных средств из каждого обрабатываемого штабеля древесины произвольным образом выбирались 10 образцов досок. Отобранные образцы древесины идентифицировались и взвешивались до проведения обработки защитными средствами.

Испытания проводились на протяжении 3 месяцев на открытой площадке (рисунок 1).



Рисунок 1 – Схема размещения штабелей на открытой площадке

В результате проведенных испытаний установлено, что при правильно подобранной концентрации антисептика в растворе, соблюдении технологии окунания возможен срок защиты пиломатериалов до 3-х месяцев. При этом следует отметить, что при нарушении этих факторов, а также из-за плохой пропитываемости плотных пакетов пиломатериалов возникают поражения древесины деревоокрашивающими грибами и плесенью (рисунок 2).

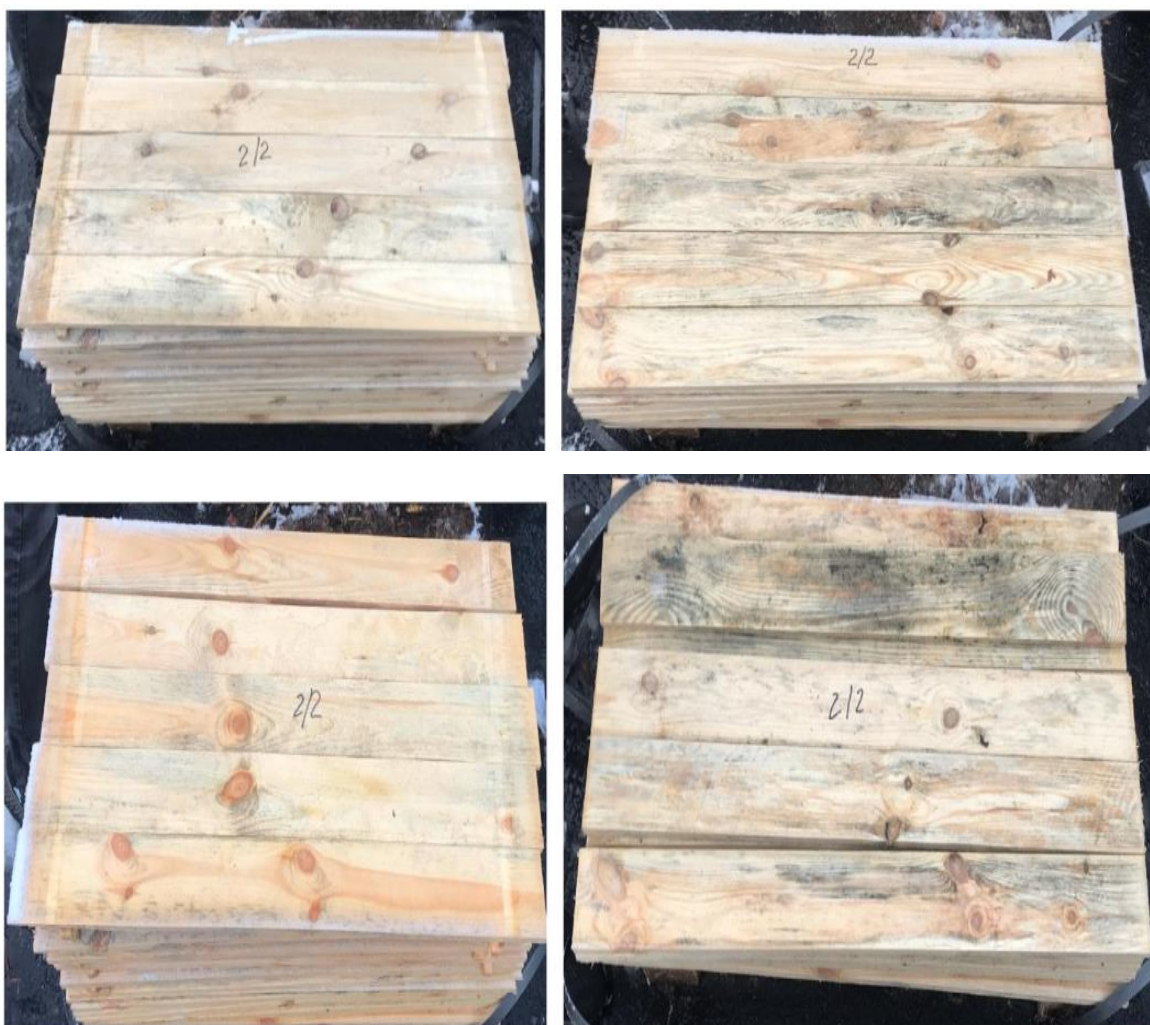


Рисунок 2 – Образцы через 3 месяца после начала проведения испытаний

Как видно из рисунка 2, транспортные антисептики уже не справляются. Поэтому нами предлагается использовать новую технологию обработки пиломатериалов пораженной синевой. Предлагаемая технология предусматривает обработку древесины комбинированным защитным средством, обладающим свойствами отбеливания поверхности пилопродукции от синевы и пролонгированной защиты от поражения древоокрашивающими и плесневыми грибами.

Снижение или полное удаление грибной окраски и плесени путем применения предлагаемой комбинированной технологии одновременного отбеливания и защиты позволяет повысить сортность пилопродукции, а значит повысить качество пиломатериалов и соответственно увеличить прибыль деревообрабатывающих предприятий.

УДК 004.946:674

А.С. Чуйков, канд. техн. наук, зав. кафедрой;
О.Г. Рудак, ст. преп.; В.О. Куневич, мл. науч. сотр. (БГТУ, г. Минск)

СПОСОБЫ ИМИТАЦИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЧЕЛОВЕКА С ПОДВИЖНЫМИ ЧАСТЯМИ ИЗДЕЛИЙ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ В УСЛОВИЯХ ВИРТУАЛЬНОГО ПРОСТРАНСТВА

Все чаще цифровые методики внедряются в технологические процессы деревообрабатывающих предприятий, заменяя при этом, частично или полностью, традиционные. Не стало исключением и применение иммерсивных технологий в проектировании мебели. Иммерсивные технологии (immersive — «создающий эффект присутствия, погружения») – это дополненная реальность AR (augmented reality), виртуальная реальность VR (virtual reality) и смешанная реальность MR (mixed reality) [1].

В связи с активным становлением виртуальной реальности (VR) возникает высокий спрос на новый опыт в VR как в массовой культуре, так и в промышленности.

Обращает на себя внимание тот факт, что особенностью работы в VR является сочетание знаний в области программирования и компьютерной графики. Нужно уметь создавать и импортировать 3D-модели, программировать их интерактивность.

Для создания среды виртуальной реальности необходимо использовать специальное оборудование и программное обеспечение (ПО). На сегодняшний день одним из наиболее популярных ПО для работы с VR и AR являются Unreal Engine (UE) и Unity. Оба имеют очень широкие возможности и являются надёжными инструментами. Эти инструменты позволяют управлять 3D-окружением, импортировать собственный материалы (3D-модели, изображения, звук, видео), а также программировать интерактивность и интерфейс [2].

К преимуществам программного обеспечения Unreal Engine можно отнести следующие:

- поддержка большого количество функций, благодаря чему в нём можно создать практически любое приложение;
- наличие встроенной системы визуального скриптинга, которая позволяет без особых препятствий выстраивать игровую логику даже новичкам;
- наличие набора стандартных инструментов для задач виртуального прототипирования (создание сечений, сборка-разборка, отслеживание коллизий, эргономика и т. п.);

- наличие широкого функционала для создания анимированных, интерактивных 3D сцен;
- поддержка популярных 3D форматов и текстур;
- возможность работать с иерархией CAD модели и поддержка трекинг-систем.

VR позволяет пользователю взаимодействовать с окружающими его объектами. Правильная репликация реальных движений элементов мебели их виртуальными прототипами значительно усиливает эффект погружения.

Рассмотрим поэтапно процесс реализации имитации движения элементов мебели.

На первом этапе необходимо, используя технические чертежи деталей мебели, установить их размеры, угол открывания, технические показатели петель, чтобы определить зазоры и припуски для установки петли, а также, установить ось вращения фасада, рисунок 1.

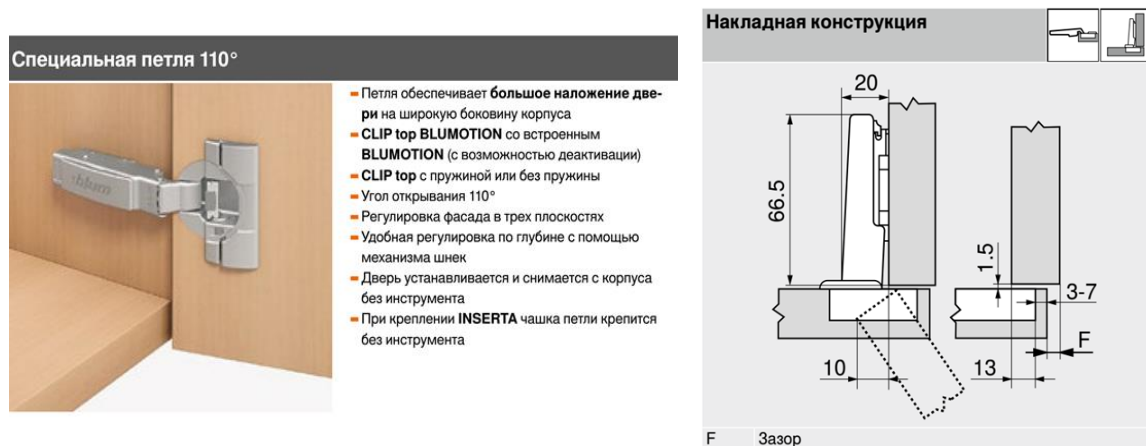


Рисунок 1 – Технические характеристики и конструкция накладной петли Blum

На следующем этапе следует, в соответствии с найденной осью вращения, составить график изменения координат свободной точки фасада. Для осуществления интерактивного движения фасадов будет достаточно определить координаты двух точек – координаты точки в начале перемещения и в конце (что соответствует, исходя из наших условий, 110°). Однако для более точной анимации элементов мебели, необходимо определить координаты 5-10 точек. После определения координат, переходим в Unreal Engine для реализации движения. Сначала создадим *Blueprint Class*. Он будет содержать логику работы всех подвижных деталей объекта.

Перед тем как реализовать функциональность объектов, необходимо создать визуальное представление из основных компонентов. Добавляем компоненты *Box* ов из которых состоит моделируемый объект

мебели. Во вкладке *Event Graph* с помощью ноды *Timeline* и найденных ранее координат анимируем подвижный элемент мебели. Выбрав фасад нашего объекта на вкладке *Details* добавляем события *OnComponentBeginOverlap* и *OnComponentEndOverlap*. Эти события будут отражаться в *Event Graph*. Далее соединяем все полученные ноды как показано на рисунке 2.

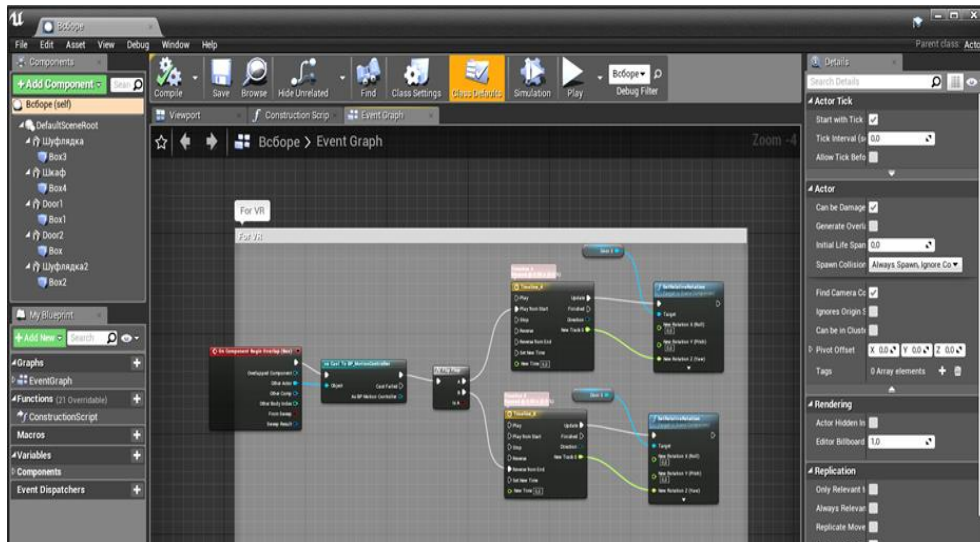


Рисунок 2 – Скриншот интерфейса рабочего пространства Unreal Engine, процесс анимирования подвижных частей мебели

Исходя из созданной логики следует, что пользователь в виртуальном пространстве при взаимодействии с интерактивными фасадами мебели реализует вызов анимации, которая была создана в *Blueprint*.

Анимация - это визуальное представление переменных, изменяющихся с течением времени, узлы временной шкалы фактически не влияют на сами компоненты, а вместо этого выводят изменяющиеся значения по мере их воспроизведения. Таким образом, *Timeline* хорошо справляется с поставленными задачами анимации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иммерсивные технологии (VR, MR, AR, 3D интерактив, 3D mapping) // УГМК-Телеком. М., 2007. URL: <https://ut-b2b.ru/otraslevye-resheniya/tekhnologii/immersivnye-tekhnologii-vr-mr-ar-3d-interaktiv-3d-mapping/> (дата обращения: 24.09.2021).

2. Unreal Engine 4 Documentation [Электронный ресурс] // Epic Games. New York, 2004. URL: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/> (дата обращения 03.10.2021).

УДК 674.055:621

А.А. Гришкевич, доц., канд. техн. наук;
Д.Л. Болочко, асп. (БГТУ, г. Минск)

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ОСЕВОГО УГЛА НА ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОЦЕССА ФРЕЗЕРОВАНИЯ

Обработка древесины и древесных материалов методом фрезерования остается значимым технологическим процессом в столярно-строительном и мебельном производствах. Существуют различные методики проведения экспериментов по изучению свойств режущего инструмента [1]. Но большинство из них охватывает не более одного исследуемого варьируемого параметра, влияющего на интересующий нас показатель – мощность резания.

На процесс резания древесины на фрезерных станках оказывает влияние много факторов, среди которых можно выделить три основные группы:

- 1) факторы, относящиеся к исследуемому материалу (физико-механические свойства породы древесины - предел прочности при сжатии, скалывании вдоль волокон, твёрдость, ударная вязкость, влажность, анизотропия и др.) [2];
- 2) факторы, относящиеся к режущему инструменту (геометрические параметры ножа, углы резания, марка стали и пр.) [3];
- 3) режимы резания или обработки (скорость главного движения, скорость подачи) [4].

Целью представленной работы является исследование влияния осевого угла на энергетические показатели процесса фрезерования экспериментальным инструментом с возможностью изменения осевого угла.

В качестве объекта обработки приняты древесина сосны, как наиболее часто используемый материал при обработке на фрезерных станках. Образцы из древесины изготавливались в виде обрезных досок с габаритными размерами 1000x300x18 мм с плотностью древесины сосны 515 кг/м³. Влажность древесины составляла $W=8...12\%$. Материал реза выбран твёрдый сплав ВК 8. Угол заострения реза 45 градусов. Частота вращения шпинделя $n=2000$ об/мин, диаметр фрезерования $D=135$ мм, скорость подачи $V_s = 6$ м/мин.

В качестве переменного фактора выбран осевой угол λ .

В качестве базовой машины был выбран четырёхсторонний продольно-фрезерный станок Unimat 23EL [5] (рис. 1, а).

Так же выбранное оборудование оснащено компьютеризированной системой для проведения исследований высокой точности (рисунок 1, б). Позволяет получать значения текущей потребляемой на резание мощности электродвигателем.



а

б

а – общий вид машины Unimat 23EL, б – средства регистрации энергетических показателей

Рисунок 1 – Лабораторная установка на базе машины с ЧПУ Unimat 23EL

В таблице представлены результаты проведения экспериментальных исследований влияния осевого угла λ на мощность процесса фрезерования.

Таблица 1 – Результаты эксперимента

λ , град	h , мм	n , об/мин	V_s , м/мин	$P_{x.x.}$, кВт	$P_{p.x.}$, кВт
0	4	2000	6	0,15	0,41
10					0,36
20					0,30
30					0,27
32					0,25
34					0,24

Для наглядности результата исследования построим график зависимости осевого угла λ , град от мощности фрезерования P , кВт (рисунок 2).

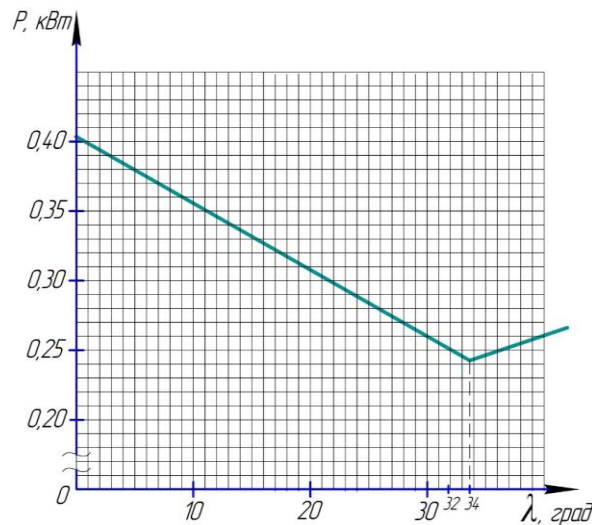


Рисунок 2 – График зависимости осевого угла от мощности

Проанализировав график зависимости мощности P от осевого угла λ можно сделать выводы о том, что изменяя осевой угол от 0 до 34 град мощность на резание уменьшается. Дальнейшее увеличение угла не ведёт к уменьшению мощности. Это связано с тем, что при осевом повороте ножа увеличивается площадь поперечного сечения стружки, так как поверхность обработанной заготовки приобретает фасонную форму.

Избежать это можно с применением лезвий криволинейной формы, но это делать не целесообразно, так как поворачивая лезвие с прямолинейной кромкой в осевом направлении мы можем получать криволинейную поверхность, а не использовать для этого различные конфигурации фрезерного инструмента, которые сложны в изготовлении и переподготовке

ЛИТЕРАТУРА

1. Бершадский, А.Л. Расчёт режимов резания древесины / А.Л. Бершадский. – М.: Высшэйшая школа, 1966 – 176 с.
2. Морозов, В.Г. Девороружуший инструмент: справ. / В.Г. Морозов– М.: Лесная промышленность, 1974. – 340 с.
3. Древесина. Показатели физико-механических свойств малых чистых образцов: ГСССД 69–84. – Введ. 10.10.84. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам. Издательство стандартов, 1985. – 30 с.
4. Воскресенский, С.А. Резание древесины / С.А. Воскресенкий. – Москва – Ленинград: Госллесбумиздат, 1955. – 200 с.
5. Руководство по эксплуатации станка Unimat 23EL / Германия, 2008. – 226 с.

УДК 674.812

И.Г. Федосенко, доц., канд. техн. наук;
Е.В. Дубоделова, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ БИОМАССЫ ДРЕВЕСИНЫ УТИЛИЗИРУЕМЫХ ИЗДЕЛИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ТОПЛИВА

Утилизация древесины различного промышленного и бытового назначения является актуальной проблемой современности. Ликвидация отработавших изделий, содержащих биомассу, например, древесины, путем захоронения на полигонах требует дополнительные площади на свалке. Сжигание изделий из биомассы, закончивших жизненный цикл является более эффективным путем утилизации. При прочих равных, более разумным будет изготовление гомогенизированного топлива для котельных, т.е. топлива с унифицированными размерами. Это дает возможность использовать утилизируемую древесину в производстве тепловой энергии как на территории потребителя, так и сторонней организации, занимающейся также и реализацией этой энергии.

Отработавшая мебель и элементы строительных конструкций из древесины могут иметь покрытия из лакокрасочных материалов, содержать отвержденные клеи и металлический крепеж. Такая биомасса перерабатывается в улучшенное топливо в виде брикетов и гранул только после отделения металлического крепежа. Отделение прочих включений также желательно.

Самым острым вопросом ставится переработка древесины, глубоко пропитанной опасными для человека и окружающей среды химическими средствами. Наибольшую сложность вызывает использование древесины шпал или опор ЛЭП, насыщенной маслами.

Подобная задача возникла при утилизации отработавших и негодных для дальнейшей эксплуатации железнодорожных шпал. Такие изделия могут содержать до 70% гнили, а сланцевое масло и крезот увеличивают класс опасности отходов древесины до третьего. Кроме того, маслянистые антисептические средства ухудшают взаимодействие лигнина при нагревании и прессовании, что усложняет процесс получения прессованного топлива.

Утилизация шпал ранее велась через захоронение или продажу населению с целью дальнейшего использования в строительстве и обиходе. Сегодня население планеты стало более трепетно относиться к окружающей себя среде и потребность в шпалах при строительстве

практически сошла на нет. Количество негодных для укладки в путь шпал на складах предприятий белорусской железной дороги резко возросло и вопрос утилизации стал достаточно затратным. Уже есть примеры использования отработавших шпал в виде топлива после их сушки и деления на короткомерные отрезки (согласно ТУ ВУ 600012389.028-2016 «Шпалы деревянные топливные»). Однако этот способ не позволяет эффективно хранить и транспортировать такое топливо на значительные расстояния. Было предложено производить из такой древесины брикеты холодного прессования на оборудовании Ruf и использовать их для получения тепловой энергии в котельных с системой очистки отработавших газов. Такое решение позволило сократить выбросы в атмосферу опасных углеводородов алифатического ряда C_1-C_{10} (алканов) при производстве и сжигании топлива.

Был разработан технологический процесс для производства брикетов и технологический регламент к нему, а также технические условия на готовые брикеты. УП «Витебское отделение белорусской железной дороги» сегодня располагает таким производством и снабжает топливными брикетами из шпал все свои станции. Это позволило эффективно утилизировать шпалы и получить дешевую тепловую энергию, крайне востребованную в отопительный сезон.

Технологический процесс производства древесных топливных брикетов состоит из следующих операций:

- подготовка сырья;
- сушка измельченной древесины;
- доизмельчение древесного сырья;
- сортировка измельченного сырья;
- прессование;
- охлаждение;
- упаковка.

Сырьем для производства брикетов служат использованные деревянные шпалы, брусья мостовые и для стрелочных переводов, не пригодные к повторной укладке в путь, в том числе прошедших химическую обработку путем пропитки средством защитным СМПС или раствором биозащитным на основе антисептика Tanalith E.

Указанные брикеты топливные в форме четырехгранника изготовлены посредством высокого давления и предназначены для использования в качестве топлива для тепловых установок производительностью до 1,0 МВт включительно в целях выработки тепловой энергии для промышленных нужд. Они также могут быть использованы в топ-

ках паровозных котлов при фактической теплопроизводительности не более 1,1 МВт.

Размеры изготавливаемых брикетов варьируют в следующих пределах:

- длина 150 ± 5 мм;
- размеры сечения (ширина и высота для четырехгранника) $((40-100) \pm 5)$ мм \times (60 ± 5) мм.

Масса готового брикета находится в диапазоне 0,6–1 кг.

Испытания готовых брикетов проводили в соответствии с актуальными стандартами:

- массовую долю общей влаги в брикетах определяли по ГОСТ EN 14774-1-2013 (EN 14774-1:2009) [1];
- зольность брикетов определяли по ГОСТ EN 32988-2014 (EN 14775:2009) [2];
- низшую теплоту сгорания брикетов ГОСТ EN 33106-2014 (EN 14918:2009) [3];
- массовую долю серы в брикетах определяли по ГОСТ EN 8606-93 [4].

Так низшая теплота сгорания брикетов всегда превышала 16,3 МДж/кг, зольность была не более 3,8 %, массовая доля общей влаги – 12 %, а массовая доля серы – 0,35 %. При этом плотность брикетов варьировала в пределах 700–1 400 кг/м³ и определялась по ГОСТ 16483.1 [5].

Это позволяет сделать вывод, что прессованное топливо, полученное из пропитанной древесины шпал, негодных для дальнейшей эксплуатации получается надлежащего качества и может конкурировать с брикетами, полученными из свежей необработанной древесины.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ EN 14774-1-2013 (EN 14774-1:2009) Биотопливо твёрдое. Определение содержания влаги. Метод с применением сушки в сушильном шкафу. Часть 1. Общая влага. Стандартный метод. Минск, 2013. 12 с.
2. ГОСТ 32988-2014 (EN 14775:2009) Биотопливо твёрдое. Определение зольности. Минск, 2014. 8 с.
3. ГОСТ EN 33106-2014 (EN 14918:2009) Биотопливо твёрдое. Определение теплоты сгорания. Минск, 2014. 52 с.
4. ГОСТ 8606-2015 (ISO 334:2013) Топливо твердое минеральное. Определение общей серы. Метод Эшка. Москва, 2015. 16 с.
5. ГОСТ 16483.1-84 Древесина. Метод определения плотности. Москва, 1984. 8 с.

УДК 674.812

И.Г. Федосенко, доц., канд. техн. наук;
В.О. Майсак, выпускник 1 ступени ВО (БГТУ, г. Минск)

ИСПЫТАНИЕ ДРЕВЕСНЫХ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ, ПОЛУЧЕННЫХ ИЗ ОПИЛОК ОТ ПРОДОЛЬНОГО РАСКРОЯ БРЕВЕН РАМНЫМИ ПИЛАМИ В НЕГОРЕЛЬСКОМ УОЛХ

В качестве сырья были выбраны опилки, образованные при продольном раскросе бревен рамными пилами. Опилки были отобраны с производственной площадки ГЛХУ «Негорельский учебно-опытный лесхоз», являющийся филиалом БГТУ. Особенностью таких опилок является малый размер в продольном направлении, чем у древесины, проходящей специальную подготовку и измельчение в производстве топливных гранул. А, как известно, длина частиц определяет стойкость конечной продукции к внешним условиям. Для улучшения прочностных характеристик гранул использовали кукурузный крахмал в различных соотношениях: 10, 20 и 30 % по массе.

Опилки с производства имели повышенную долю влаги – более 60 %. Поэтому перед прессованием они подвергались искусственной сушке до абсолютной влажности 12 % при температуре 103°C. После отсева, выделяли фракцию 0,5–2 мм, которая и использовалась для изготовления пробы гранул.

Прессование производили на прессе-грануляторе SKJ-200 с плоской матрицей, имеющейся в лаборатории кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Пресс оснащен матрицей с отверстиями 6 мм и двумя рифлеными катками, установленными на крестовине. Прижим катков осуществляется при помощи затягивания гайки, притягивающей крестовину к поверхности матрицы.

Было получено примерно по 2 дм³ гранул с каждым содержанием кукурузного крахмала. Крахмал добавляли в пресс-массу во время прессования, равномерно распределяя по всему объему прессуемого материала.

Была оценена насыпная плотность полученных гранул, кг/м³, которая отражена графиком на рисунке 1.

Анализируя экстремумы кривой полиномиального уравнения регрессии (формула 1), выяснилось, что наибольшая насыпная плотность будет достигаться при добавке 15,5 % кукурузного крахмала, при этом насыпная масса составит 631 кг/м³.

$$y = -0,0101 \cdot x^3 + 0,2253 \cdot x^2 + 0,2764 \cdot x + 609,76 \quad (1)$$

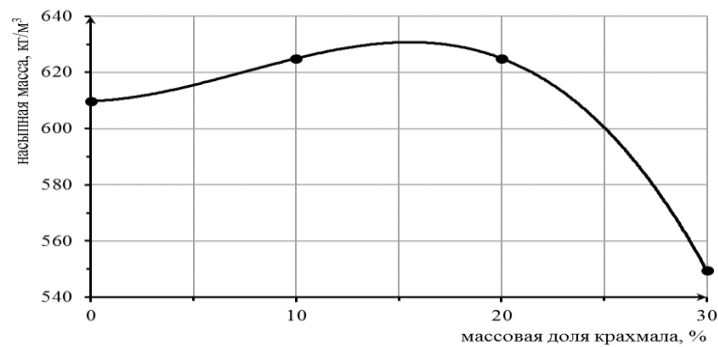


Рисунок 1 – Зависимость насыпной массы полученных гранул от массовой доли добавки

Из полученных проб, после просеивания на сите с круглыми отверстиями 3,15 мм, готовились пробы для определения механической стойкости гранул. Масса каждой пробы составила 500 мг (согласно ISO). Механическую стойкость определяли при помощи прибора КГУ-1, доступному в учебной лаборатории кафедры.

Согласно стандарту, короб установки вращается вокруг оси в течении 10 минут со скоростью 50 об/мин, после чего пробу высыпают, отсеивают частицы мельче 3,15 мм и взвешивают. При этом определяют процентное соотношение массы оставшейся фракции крупнее 3,15 мм к массе навески, засыпанной в короб.

По результатам такого испытания был построен график, представленный на рисунке 2.

Анализируя экстремумы кривой полиномиального уравнения регрессии (формула 2), выяснилось, что наибольшая прочность будет достигаться при добавке 7 % кукурузного крахмала, при этом прочность составит 91 %.

$$y = 0,001 \cdot x^3 - 0,071 \cdot x^2 + 0,8867 \cdot x + 88,6 \quad (2)$$

Также было проведено испытание гранул на водостойкость. Это нестандартная методика. Предложено выдерживать гранулы в дистиллированной воде так, чтобы гранулы полностью были погружены в нее.

Оценивалось время начала разрушения гранул, которое устанавливалось с момента начала видимых изменений размеров гранул. Гранулы помещали в прозрачные кюветы, которые имели такие размеры. Чтобы не сдерживать их набухание. Кюветы наполняли дистиллированной водой на половину. Затем резко погружали гранулы в воду и замеряли время с этого момента. По результатам такого испытания получили результаты, отраженные на графике на рисунке 3.

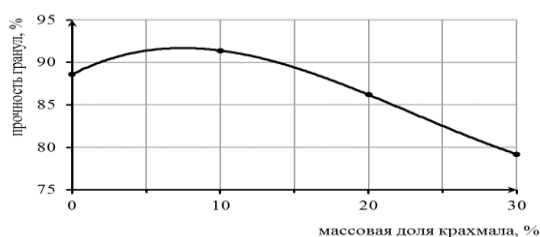


Рисунок 2 – Зависимость прочности гранул от массовой доли добавки

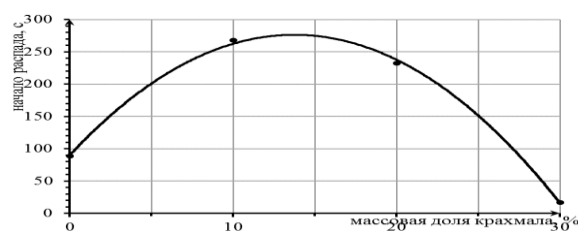
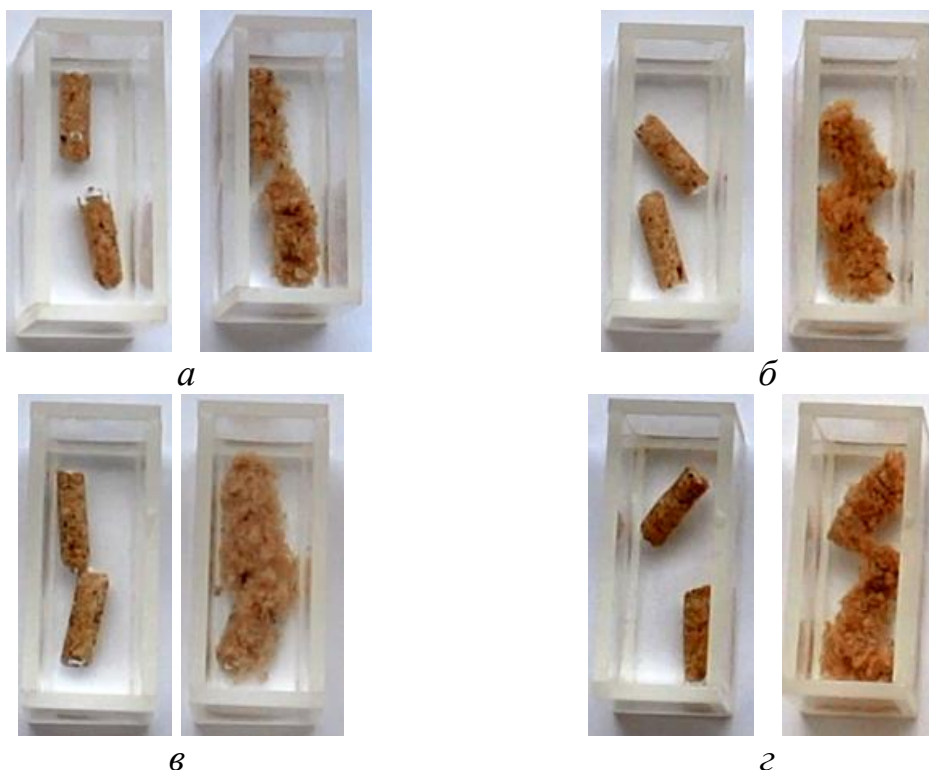


Рисунок 3 – Зависимость начала распада гранул в воде от массовой доли добавки

На рисунке 4 представлены фото с гранулами, погруженными в воду до и после распада.



а – гранулы без добавок; *б* – гранулы с добавкой кукурузного крахмала 10 % по массе; *в* – гранулы с добавкой кукурузного крахмала 20 % по массе; *г* – гранулы с добавкой кукурузного крахмала 30 % по массе

Рисунок 4 – Распад гранул в воде

Анализируя экстремумы кривой полиномиального уравнения регрессии (формула 3), выяснилось, что самый длительный срок распада, а значит водостойкость будет достигаться при добавке 13,7 % кукурузного крахмала, при этом время начала распада составит 276 с, т. е. 4 мин 36 с.

$$y = -0,9867 \cdot x^2 + 27,107 \cdot x + 90,067 \quad (3)$$

В совокупности, можно сделать заключение, что 12 % добавка кукурузного крахмала способна обеспечить оптимальные показатели плотности, прочности и водостойкости гранул.

УДК 678.54.067.3:678.027

А.В. Полховский, ассист.; А.Л. Наркевич, доц., канд. техн. наук;

С.В. Шетько, доц., канд. техн. наук;

С.А. Прохорчик, канд. техн. наук., доц. (БГТУ, г. Минск)

ИЗУЧЕНИЕ КИНЕТИКИ НАГРЕВА И ОХЛАЖДЕНИЯ ФОРМЫ ДЛЯ СКЛЕИВАНИЯ ДЛИННОМЕРНЫХ ИЗДЕЛИЙ

При получении слоистых изделий на основе древесины и полимерных композиционных материалов применяют склеивание, которое может быть также совмещено с формообразованием изделия. Склеивание составами на основе терморезактивных смол для ускорения процесса или для обеспечения требуемых режимов может происходить при относительно высоких температурах, которые, тем не менее, не должны нарушать структуру древесины и других компонентов изделия. Метод нагрева формообразующей оснастки циркулирующей нагретой водой при повышенном давлении является наиболее простым для технической реализации способом, особенно в случаях, когда требуется последующее охлаждение. Однако для этого метода характерно неравномерное распределение температуры по направлению перемещения нагревающей (охлаждающей) жидкости. Это в большей мере проявляется при получении длинномерных изделий.

Цель работы - выявление фактических температурно-временных режимов в обогреваемой (и затем - охлаждаемой) форме при склеивании путем отверждения терморезактивных компонентов для получения изделий на основе древесины и полимерных компози-

тивов.

В качестве длинномерных изделий для вышеуказанного процесса выступает лыжа длиной 1800 мм, высотой до 22 мм и шириной до 45 мм. Лыжа состоит из ряда функциональных слоев (частей) из древесины, термопластичных полимеров, композитов на основе армирующих волокон и терморезактивных полимеров, а для их объединения применяется специальный адгезионный слой на основе терморезактивного связующего и волокнистого наполнителя. Для объединения функциональных слоев и для формообразования изделия применяется двухэтажный пресс и соответствующая пресс-форма. Подача под давление до 3,8-4,0 атм. нагревающей (температура $124\pm 2^\circ\text{C}$) и охлаждающей (температура $14\pm 2^\circ\text{C}$) жидкости осуществляется попеременно через одни и те же каналы, выполненные в каждом из оснований пресс-формы. Цикл формования (нагрев и охлаждение) - 30 мин. Данные о температурах формы для изучения кинетики ее нагрева и охлаждения получены в рамках комплекса исследовательских

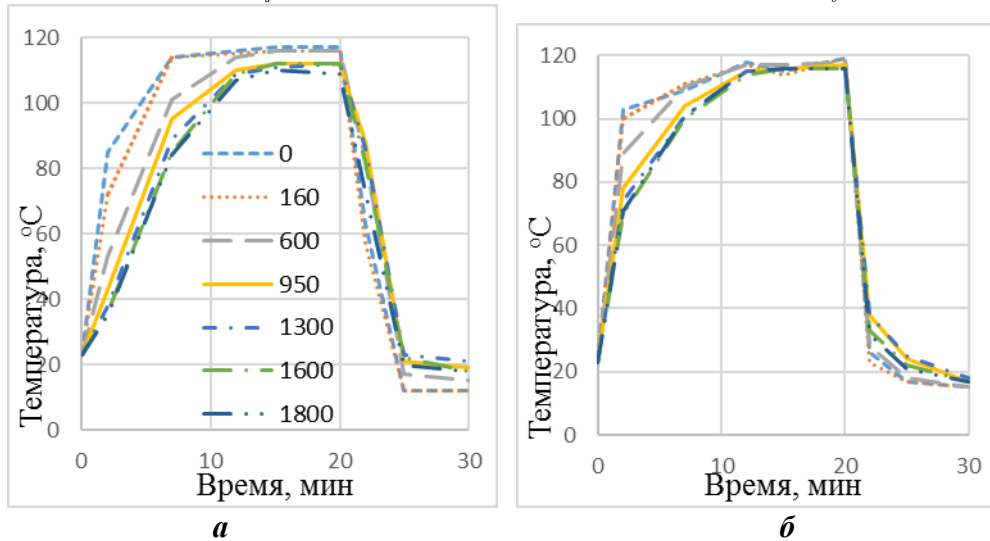
работ при изготовлении экспериментальной партии лыж. Температуру формы измеряли в точках, равноудаленных от верхней и нижней формообразующих поверхностей пресс-формы. Точки располагали в следующих характерных местах по длине формы: торец изделия в передней части лыжи, со стороны которого подается вода для нагревания (охлаждения) – нулевая точка; противоположный торец изделия в задней части лыжи – 1800 мм; в самом высоком месте колодки – 950 мм; в точках перегибов контура лыжи – 160 и 1600 мм; в промежуточных точках – 600 и 1300 мм. Измерения температуры производили инфракрасным термометром. Для наблюдения за кинетикой нагрева и охлаждения цикл формования разбили на шесть промежутков. Учитывая предыдущий опыт получения экспериментальных партий лыж, фиксирование измеренной температуры производили, начиная с третьей запрессовки (предыдущие две – использовали для отработки методики измерения и фиксирования измеренных значений температуры). Всего производили восемь запрессовок.

На рис. 1 показана зависимость температуры от времени для каждой из характерных точек формы. Видим влияние на температуру формы положения характерных ее точек от места подачи нагревающей (охлаждающей) жидкости. При этом это различие в некоторой степени пропадает с увеличением числа запрессовок. После шестой запрессовки изменений в характере распределения температур практически не наблюдали. Для отражения (рис. 2) зависимости температуры от положения характерных точек формы приведем здесь данные только для стадии нагрева, так как она наиболее энергозатратная. Из анализа полученных данных установил, что, начиная с шестой запрессовки температуры по длине изделия более высокие в определенные моменты времени, чем во время третьей запрессовки (рис.2). Оценивая зависимости распределения температур по длине и с течением времени отдельно для первого (нижнего) и второго этажей пресса, не выявили значительных различий между ними – отклонения составляли не более $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Исходя из полученных результатов, сделали следующие выводы:

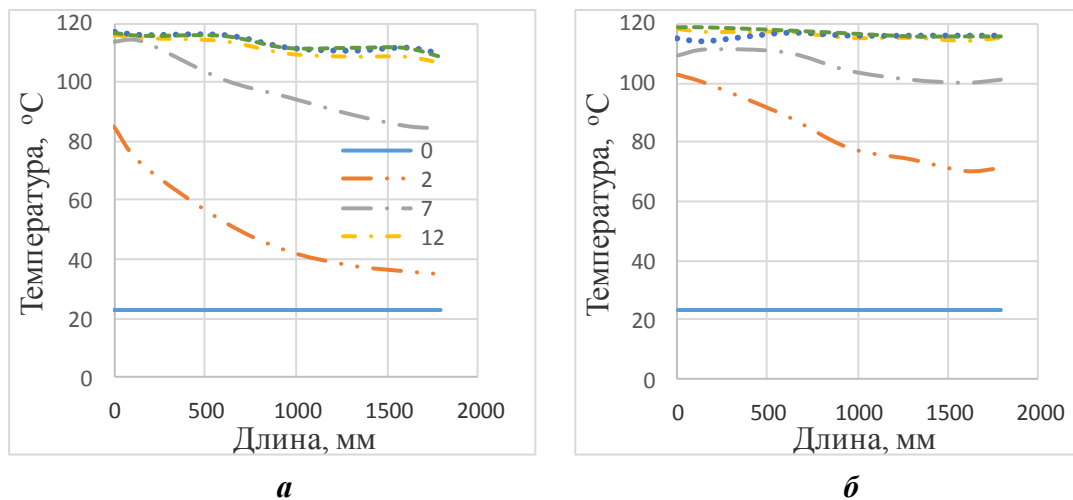
- наблюдается влияние количества предыдущих запрессовок, как на максимально достигаемые значения температуры формы, так и на характер распределения температуры по длине формы с течением времени;
- характер распределения температур при нагревании оставался практически неизменным после шестой запрессовки, а при охлаждении – после четвертой;

- после шестой запрессовки, на стадии нагрева существует определенный временной промежуток, когда по всей длине формы температура имеет наибольшие и практически одинаковые значения.



a - запрессовка №3; *б* - запрессовка №6

Рисунок 1 – Зависимость температуры от времени для положения характерных точек формы, мм



a - запрессовка №3; *б* - запрессовка №6

Рисунок 2 – Зависимость температуры от положения характерных точек формы в различные моменты времени, мин

Таким образом, зная кинетику процессов нагрева и охлаждения формы при склеивании длинномерных изделий, можно целенаправленно увеличивать (уменьшать) продолжительность нагрева (охлаждения) формы для достижения заданного качества изделия, в том числе при первых запрессовках, при минимальных ресурсах.

УДК 621.934

Т.А. Машорипова, асп.;
А.Ф. Аникеенко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОЩНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОЦЕССА СВЕРЛЕНИЯ ДСтП СПИРАЛЬНЫМИ СВЕРЛАМИ С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

Как правило, экспериментальное решение инженерных задач сводится к нахождению закономерностей влияния входных переменных факторов процесса на выходные показатели. Полученные закономерности позволяют оценить воздействие входных переменных, что дает возможность в дальнейшем управлять технологическим процессом, делая его оптимальным [1].

Мощность P , кВт затрачиваемая на резание при сверлении ДСтП определим по формуле [2].

$$P = K \frac{D \cdot \Delta \cdot V}{4 \cdot 1000}, \quad (1)$$

где K – среднее условное давление резания, Дж/см³; D – диаметр сверла, мм; Δ – подача на один оборот, мм; V – скорость резания, м/с.

$$\Delta = S_z \cdot z, \quad (2)$$

где S_z – подача на резец, мм, $S_z=0,2$ мм; z – число резцов, шт, $z = 2$ шт.

$$\Delta = 0,2 \cdot 2 = 0,4 \text{ мм},$$

$$V = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{60 \cdot 1000}, \quad (3)$$

где D – диаметр сверла, $D=25$ мм; n – частота вращения вала, мин⁻¹, $n=3000$ мин⁻¹.

$$V = \frac{3,14 \cdot 25 \cdot 3000}{60 \cdot 1000} = 3,925 \text{ м/с}.$$

По таблице 17.3 [2] для сверла диаметром $D=25$ мм и подачи на резец $S_z = 0,2$ мм выбираем значение среднего условного давления резания $K = 35,1$ Дж/см³.

$$P = \frac{35,1 \cdot 25 \cdot 0,4 \cdot 3,925}{4 \cdot 1000} = 0,34 \text{ кВт}.$$

Результаты расчета мощности, затраченной на резание при различных подачах на резец представлены в таблице 1.

Для проведения практических исследований использована экспериментальная установка на базе обрабатывающего центра с числовым программным управлением Rover В 4.35

Таблица 1 – Результаты расчетов мощности, затрачиваемой на резание

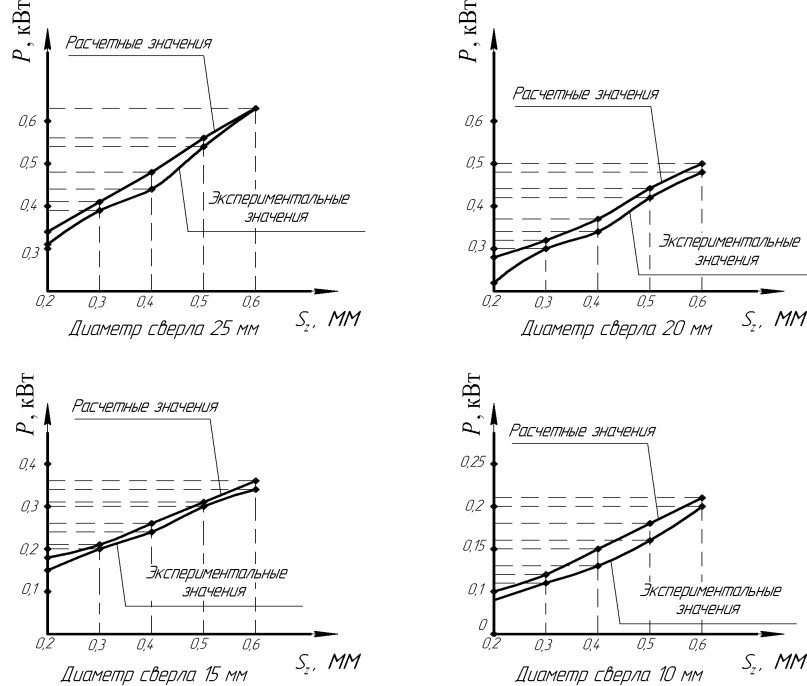
Подача на резец S_z , мм	Мощность затрачиваемая на резание P , кВт, при диаметре сверла D , мм			
	25	20	15	10
0,2	0,34	0,28	0,18	0,1
0,3	0,41	0,32	0,21	0,12
0,4	0,48	0,37	0,26	0,15
0,5	0,56	0,44	0,31	0,18
0,6	0,63	0,5	0,36	0,21

При выполнении экспериментальной части работ выполнено четыре серии опытов с применением спиральных сверл разного диаметра и сверлением с различными подачами на резец. Полученные результаты приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Результаты измерений мощности, затрачиваемой на резание

Подача на резец S_z , мм	Мощность затрачиваемая на резание P , кВт, при диаметре сверла D , мм			
	25	20	15	10
0,2	0,31	0,25	0,15	0,1
0,3	0,39	0,30	0,20	0,11
0,4	0,44	0,34	0,24	0,13
0,5	0,54	0,42	0,30	0,16
0,6	0,63	0,48	0,34	0,20

Для наглядного сравнения на рисунке 1 приведены графики изменения затрат мощности на резание от подачи на резец при использовании сверл различного диаметра, полученные по результатам расчета и установленные экспериментально.

**Рисунок 1 – Графики изменения затрат мощности на резание от подачи на резец при использовании сверл различного диаметра**

Исследования показали, что при увеличении диаметра сверла и подачи на резец, мощность, затрачиваемая на резание, растёт. В свою очередь, значения мощности, полученные в результате расчета и экспериментальным путем, различаются не существенно. Поэтому для расчета мощности при сверлении ДСтП можно воспользоваться существующей методикой, изложенной в литературе [2], с которой довольно точно можно определить мощности при сверлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пижурин А.А. Роземблит М.С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесн. пром-сть, 1984. – 232 с.
2. Гришкевич А.А. Механическая обработка древесины и древесных материалов, управление процессами резания: учебно-методическое пособие для студентов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 03 «Машины и оборудование деревообрабатывающей промышленности»/ Сост. А.А. Гришкевич – Минск: БГТУ, 2012. – 109 с.

УДК 674.5

С.С. Гайдук, доц., канд. техн. наук;
С.А. Прохорчик, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ДЕКОРАТИВНЫЕ ИЗДЕЛИЯ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ

На сегодняшний день все более активно в интерьере и экстерьере используются декоративные изделия из древесины. Это связано с тем, что древесина обладает высокими декоративными свойствами, достаточно легко обрабатывается и имеет относительно невысокую стоимость.

На улице чаще всего используются так называемые малые архитектурные формы (рисунки 1–4).



Рисунок 1 – Цветочница



Рисунок 2 – Мельница



Рисунок 3 – Скамейка



Рисунок 4 – Беседка

В этом случае для изготовления чаще всего используются лиственные породы древесины или сосна.

Все большую популярность набирает направление с заливкой изделий смолой. В этом случае используются ценные породы древесины с красивой текстурой (дуб, ясень, акация и т. д.). Для изготовления изделия в качестве основы применяются спилы (рисунок 5) или слэбы (рисунок 6), в качестве заливочного материала – полимерная смола. Применение различного рода колеров позволяет получать достаточно разнообразные рисунки. Такая технология чаще всего применяется для изготовления столешниц.



Рисунок 5 – Стол из спила



Рисунок 6 – Стол из слэба

Стремление людей к использованию экологически чистых материалов привело к развитию такого направления как деревянная посуда и деревянная кухонная утварь. Сюда относятся не только классические

деревянные тарелки, менажницы и лопатки (рисунки 7–9), но и разделочные доски, в том числе торцевые. Для таких изделий используются ценные породы древесины, при этом чаще в изделии может быть скомбинировано несколько пород.

Для склеивания таких изделий используются клеи, которые могут контактировать с продуктами питания (например, Titebond). Для отделки чаще всего используются минеральные масла (вазелиновое), воски или их смесь.



Рисунок 7 – Тарелки



Рисунок 8 – Лопатки



Рисунок 9 – Менажницы (подносы)



Торцевая разделочная доска набирает все большую популярность по причине высоких декоративных свойств, за счет торцевой структуры на ней практически не видны резы от ножа и меньше снижается режущая способность ножа по сравнению с классической разделочной доской (рисунок 10).

Использование разнообразных по текстуре и цвету пород позволяет получать самые неординарные рисунки (рисунки 11–13). Применение ЧПУ обработки позволяет реализовать любые пожелания [1].



Рисунок 10 – Торцевые разделочные доски



Рисунок 11 – Торцевые разделочные доски



Рисунок 12 – Торцевые разделочные доски с обработкой на станках с ЧПУ



Рисунок 13 – Торцевые разделочные доски с обработкой на станках с ЧПУ

ЛИТЕРАТУРА

1. Доски для ваших кулинарных шедевров URL: <https://mtmwood.com/> (дата обращения: 05.01.2022).

УДК 674.028.9

С.С. Гайдук, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

СКЛЕИВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ РАЗЛИЧНЫХ ПОРОД

Использование натуральной древесины является на сегодняшний день приоритетным направлением развития производства мебели и столярно-строительных изделий. Натуральная древесина получила широкое распространение из-за ряда достоинств: высокая прочность и малый вес, простота обработки и утилизации, высокая морозостойкость и др. Для получения высококачественного изделия из массивной древесины ее нужно склеивать. Это необходимо для увеличения формоустойчивости изделия и рационального использования сырья. При производстве декоративных изделий все чаще используется древесина разных пород. Это позволяет получать изделия с различным рисунком. В этой связи возникает необходимость учета свойств различных пород древесины.

На качество изделия в конечном итоге оказывает влияние большое количество разнообразных факторов: качество сушки древесины, ориентация ламелей в щите, используемый клей и т. д. Для склеивания древесины на сегодняшний день наиболее часто используется поливинилацетатный клей (ПВА). Данный клеевой материал обладает рядом достоинств, основным из которых является экологичность.

На рынке клеевых материалов ПВА клей представлен различными фирмами-производителями, в основном европейскими. В производстве изделий из древесины наиболее часто используются клеи марки D3. Клеевые соединения на основе клеев данной марки могут эксплуатироваться внутри помещения при частом кратковременном воздействии проточной или конденсированной воды и (или) повышении на короткое время влажности [1].

Для определения прочности и водостойкости клеевых соединений в Европе используются два стандарта: DIN EN 204 [2] и DIN EN 205 [3]. Данные стандарты описывают методику проведения испытаний и требуемые значения при определении прочности древесины на сдвиг вдоль волокон.

Для проведения испытаний согласно DIN EN 205 используют пластины из древесины влажностью 12 %. Волокна древесины должны располагаться вдоль плоскости склейки (по направлению растяжения при испытании), а годовые кольца – под углом 30–90° к плоскости склейки. Образцы получают методом склеивания по пластям двух пластинок длиной 150 мм, шириной 20 мм и толщиной 5 мм. Образцы после склеивания выдерживаются 7 сут при нормальном климате, по-

сле чего делаются поперечные запилы на расстоянии 10 мм. Общий вид образца для проведения испытаний представлен на рисунке [1].

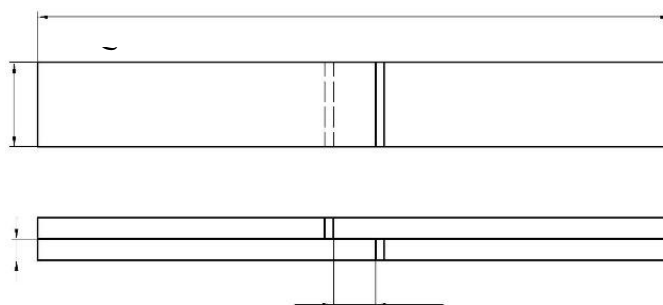


Рисунок 1 – Образцы для определения прочности клеевых соединений

Для определения прочности образцов использовалась разрывная машина РМ-0,5 (5000 Н), скорость нагружения составляла 50 мм/мин. В качестве клеящего вещества использовался поливинилацетатный клей импортного производства. Для отнесения клеевого соединения к группе нагрузки D3 согласно DIN EN 205 необходимо выполнение условий, представленных в таблице 1.

Таблица 1 – Показатели прочности клеевого соединения при сдвиге (D3)

Последовательность выдержки	Прочность клеевого соединения, МПа
7 суток при нормальном климате ($t = 23-25^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 50-70\%$)	≥ 10
7 суток при нормальном климате 4 суток в холодной воде ($t = 20-23^{\circ}\text{C}$)	≥ 2
7 суток при нормальном климате 4 суток в холодной воде 7 суток при нормальном климате	≥ 6

В результате проведения испытаний определены прочность и водостойкость клеевых соединений различных пород древесины, образованных клеями ПВА (таблица 2).

Таблица 2 – Прочность склеивания древесины клеєм

Вид клея	Прочность при продольном скалывании, МПа		
	после выдержки 7 сут после склеивания	после выдержки 7 сут + в воде 4 сут	после выдержки 7 сут + в воде 4 сут + выдержка 7 сут
Дуб	10,85	2,14	8,25
Ясень	10,26	2,18	8,43
Береза	10,12	1,98	8,05
Бук	11,53	2,54	8,78
Дуб–ясень	10,75	2,25	8,58
Дуб–береза	10,20	2,18	8,47
Дуб–бук	10,95	2,28	8,67
Ясень–береза	10,55	2,27	8,55
Ясень–бук	11,34	2,08	8,32
Береза–бук	10,17	2,22	8,40

В результате проведения испытаний определены прочность и водостойкость клеевых соединений, образованных клеем ПВА на различных породах древесины. Установлено, что наибольшей прочностью и водостойкостью обладают образцы, склеенные из древесины бука.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гайдук С.С. Методики оценки прочности клеевых соединений массивной древесины / С.С. Гайдук, Е.В. Ручкина // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 85-й науч.-технич. конференции с международным участием, Минск, 01–13 февраля 2021 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2021. – С. 108–109.

2. Клеи. Клеи неконструкционные для дерева. Определение прочности склеивания продольных склеек испытанием на разрыв: DIN EN 205–2003. – Введ. 21.11.2002. – СЕН, 2003. – 10 с.

3. Классификация термопластичных клеев для древесины для применения не в производстве конструкционного силового бруса: DIN EN 204-2001. – Введ. 01.05.2001. – СЕН, 2001. – 5 с.

УДК 694.1:674.21

А.В. Бобков, студ.; С.П. Трофимов, доц., канд. техн. наук
(БГТУ, г. Минск)

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ В ОБЛАСТИ МОДИФИКАЦИИ ДРЕВЕСИНЫ

Согласно ГОСТ 23944-80 [1] под модификацией древесины понимается процесс направленного изменения физико-механических, теплофизических, триботехнических, биохимических свойств применительно к условиям эксплуатации изделий из нее. Модифицированная древесина – результат процесса модификации.

Существуют различные способы модификации древесины, каждый из которых уникален и придает исходному материалу различные свойства. В ГОСТ 24329-80 [2] приведены классификация, описание способов модификации древесины и деление на группы: термомеханическая с предварительным пропариванием, с нагревом, без предварительного пропаривания или нагрева, с предварительной пропиткой минеральными смолами, с наполнением древесины смолами; термохимическая модификация древесины; химико-механическая модификация с обработкой древесины аммиаком, с обработкой мочевиной;

химическая модификация ацетилирующими реагентами; радиационно-химическая модификация древесины.

В настоящее время количество проводимых разработок в области модификации древесины значительно снизилось по сравнению с концом XX века (в частности, такие работы активно проводились в проблемной лаборатории модификации древесины БТИ им. С.М. Кирова, например [3]). Несмотря на широкий перечень способов модифицирования применение их для модифицирования крупномерной древесины часто не приемлемо по причине высокой стоимости составов, технологического оборудования, отсутствия необходимых веществ в большом количестве.

В процессе проведения исследований модифицирования древесины было поставлена цель определить ряд важных физических и физико-механических свойств материал. Модифицирующим веществом был принят метиметаакрилат.

Предел прочности при статическом изгибе определялся согласно ГОСТ16483.3-84. Сущность метода заключается в определении максимальной нагрузки при разрушении образца и вычислении напряжения при этой нагрузке. Образцы были изготовлены изготовляют в форме прямоугольной призмы с поперечным сечением 20x20 мм и длиной вдоль волокон 300мм. Образцы были подвергнуты нагружению в испытательной машине до разрушения, определяя максимальное показание.

Образцы древесины пропитывались не позднее чем через 24 ч после изготовления. Образцы древесины перед пропиткой нумеровали, затем взвешивали с точностью 0,02 г.

Поглощение раствора защитного средства Π , кг/м², вычисляли по формуле

$$\Pi = \frac{m_2 - m_1}{S}. \quad (1)$$

где m_1 – масса образца до обработки, г; m_2 – масса образца после обработки, г; S – площадь поверхности образца, м².

После пропитки образцы выдерживали над пропиточной емкостью в течение 20 ± 5 мин и снова взвешивались. Пропитка образцов проводилась методом погружения в раствор с выдержкой в нем в течение 60 с.

Для определения водопоглощения материала проведены соответствующие исследования: Образцы были высушены в бюксах до абсолютно сухого состояния согласно ГОСТ 16483.7-71 и взвешены с погрешностью не более 0,01 г. Затем образцы подвергались увлажне-

нию и взвешиванию с периодичностью от до 20 мин с интервалом 1 минута после первоначального погружения и далее через каждый час. Минимальная продолжительность выдерживания образцов 2 часа. Испытания заканчивали, когда разность между двумя последними взвешиваниями становилась не более 0,05 г.

Испытания проводились на образцах древесины размерами 10×55×75 мм (75 мм – по длине волокон). Образцы были изготовлены из прямослойной свежераспиленной древесины заболони сосны с плотностью в воздушно-сухом состоянии 0,48-0,52 г/см³. В образце на 1 см по радиусу было по 5–7 годичных слоев, параллельных широкой пласти образца.

Испытание каждой концентрации защитного средства проводилось на 18 пропитанных образцах (по 6 образцов для каждой из трех групп грибов) и 6 контрольных (не пропитанных) образцах (по 2 образца для каждой из трех групп грибов).

Результаты испытаний предела прочности при статическом изгибе записывались в таблицу 1, после чего проводился расчет предела прочности при статическом изгибе по формуле

$$s_w = P_{\max} \cdot l / (b \cdot h), \quad (2)$$

где P_{\max} – максимальная нагрузка, l – расстояние между опорами приспособления, b – ширина исследуемого образца, h – высота исследуемого образца.

Таблица 1 – Результаты исследования предела прочности при статическом изгибе

Свойство	Номер образца			
	1	2	3	4
Плотность натуральной древесины, кг/м ³	616			
Плотность модифицированной древесины, кг/м ³	1158,8	1258,8	1132,2	1158,8
Предел прочности при статическом изгибе, Мпа (натуральная древесина)	116			
Предел прочности при статическом изгибе, МП (модифицированная древесина)	210	216	204	216

Увеличение предела прочности материала сопровождается значительным ростом плотности и потенциально массы изделий, изготовленных из этого материала.

Результаты определения водопоглощения модифицированного материала заносились в рабочую таблицу и с установлением прироста массы образца от поглощенной влаги в процентах

$$P = (m_i - m_0)100/m_0 \quad (3)$$

Полученная зависимость водопоглощения натуральной и модифицированной древесины во времени представлена на рис. 1. Для упрощения, на график были нанесены усредненные значения для натуральной и модифицированной древесины.

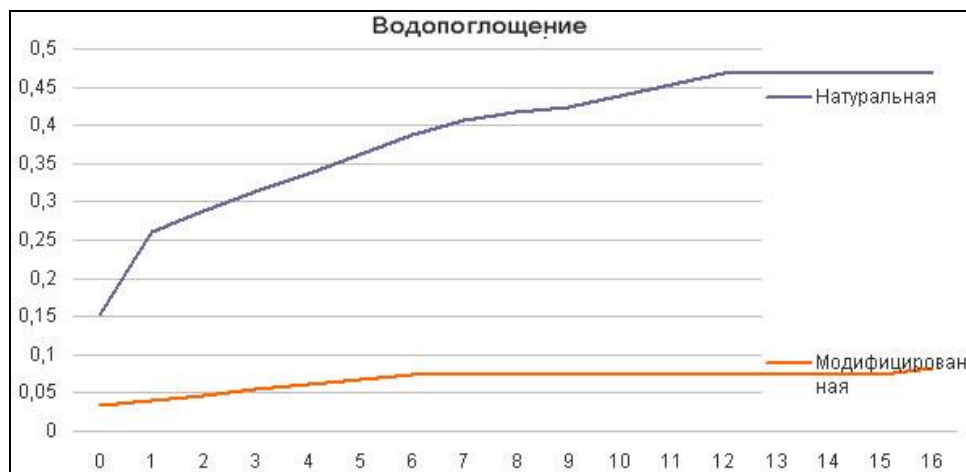


Рисунок 1 – Зависимость прироста массы материала за счет водопоглощения во времени

По результатам проведенных исследований были сделаны публикации и сформулированы предложения сфере их применения и практической реализации [5]. Актуальным является продолжение исследований в области экологической безопасности материалов при эксплуатации и утилизации изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 23944-80. Древесина модифицированная. Термины и определения.
2. ГОСТ 24329-80. Древесина модифицированная. Способы модифицирования.
3. Эрдман, М.Э. Составы и процессы модифицирования древесины термохимическим способом: Автореферат диссертации, спец. 05.21.05. – Минск: БТИ, 1986. – 22 с.
4. Бобков, А. В. Применение модифицированной древесины в производстве мебели / А. В. Бобков // 72-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов : тезисы докладов, 12-23 апреля 2021 г., Минск : в 4 ч. Ч. 1. - Минск : БГТУ, 2021. – С.149-150.

УДК 674.047.3

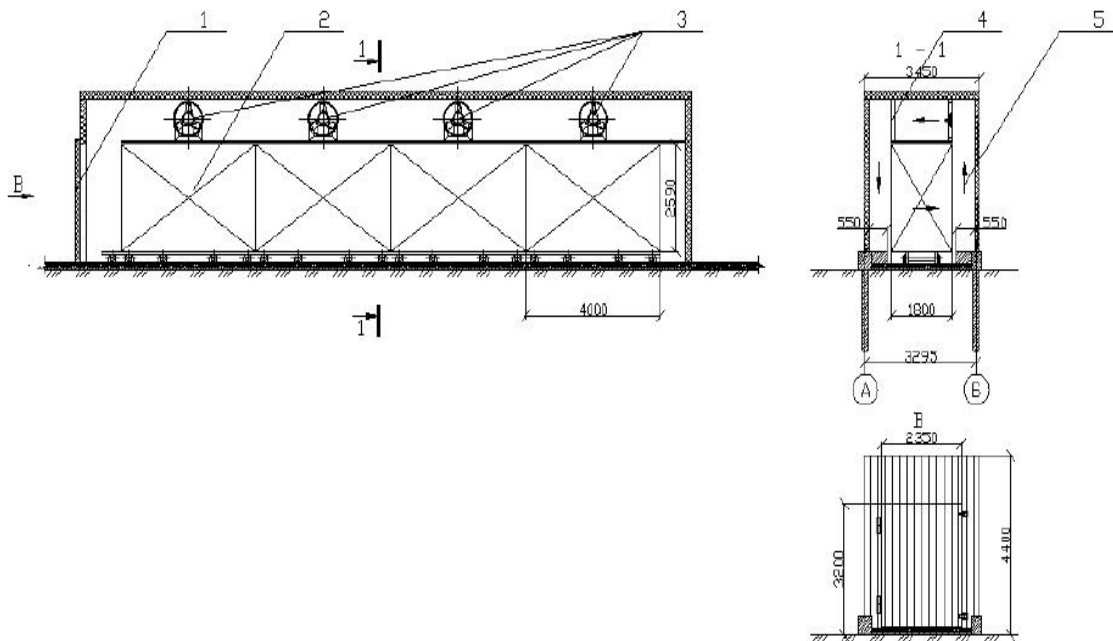
А.В. Мяслицин, доц., канд. техн. наук (УГЛТУ, Екатеринбург)

НИЗКОТЕМПЕРАТУРНАЯ СУШКА ДРЕВЕСИНЫ БУКА В ПАО «БЕШТАУ»

Кафедра управления в технических системах и инновационных технологий Уральского государственного лесотехнического университета осуществляет научно-техническое сотрудничество с рядом деревоперерабатывающих предприятий Свердловской области и других регионов России. Проблема поиска оптимальных режимов сушки пиломатериалов остается по-прежнему ключевой, несмотря на применения предприятиями отрасли современных сушильных камер.

В данной работе вышеуказанная проблема рассмотрена на основе опыта технической эксплуатации сушильного оборудования БИРИС на передовом предприятии отрасли ПАО «БЕШТАУ».

В сушильные камеры БИРИС на подштабельные тележки загружаются штабели материала размерами 4,0 x 1,8 x 2,6 м до 4 штук (рисунок 1).



1 – дверь, 2 – штабель пиломатериалов, 3 – осевой реверсивный вентилятор,
4 – калорифер, 5 – направление движения сушильного агента

Рисунок 1 – Общий вид сушильной камеры

Теплоноситель – горячая вода в пластинчатых биметаллических вертикальных калориферах, которая подается из котельной. Циркуляцию сушильного агента обеспечивают четыре осевых реверсивных

вентилятора мощностью 3 кВт каждый, которые расположены над штабелями вдоль продольной оси камеры. Приток свежего воздуха и удаление отработанного осуществляется через воздухопроводы с заслонками, расположенными на крыше. Увлажнение сушильного агента происходит через форсунки. Контроль влажности древесины осуществляется с помощью шести парных контактных датчиков. Управление сушилкой возможно, как автоматическое (по фирменным режимам), так и ручное. Все результаты температурно-влажностных измерений контролируются при помощи регулятора DELPHI.

Благодаря научным исследованиям был разработан режим сушки древесины, обеспечивающий бездефектную сушку пиломатериала бука. Сушке подвергался необрезной пиломатериал бука толщиной 40 мм и длиной 4 м. Контроль за влажностью древесины во время процесса сушки древесины происходил согласно ГОСТ 16588-91 [1].

Структура экспериментального режима сушки пиломатериалов приведена в таблице.

Таблица 1 – Экспериментальный режим сушки пиломатериалов

Влажность пиломатериала, %	t, °C	Влажность сушильного агента, %	Продолжительность, ч
	45	25	18
>40	41	19,8	
40-35	43	18,5	
35-30	45	16,1	
30-25	47	14,2	
25-20	50	11,6	
20-15	52	10,1	
15-10.	55	8,2	
10-8.	57	6,2	
	52	9	24

Для контроля остаточных внутренних напряжений по РТМ [2] было взято по 15 образцов. Средняя конечная влажность пиломатериала составила 7 %, а среднее квадратическое отклонение – 0,82 %.

График сушки пиломатериалов изображен на рисунке 2.

У менее, чем 1 % пиломатериалов образовались торцевые трещины. Продольное коробление отсутствовало. При дальнейшей обработке пиломатериала в полученных деталях не наблюдались какие-либо дефекты.

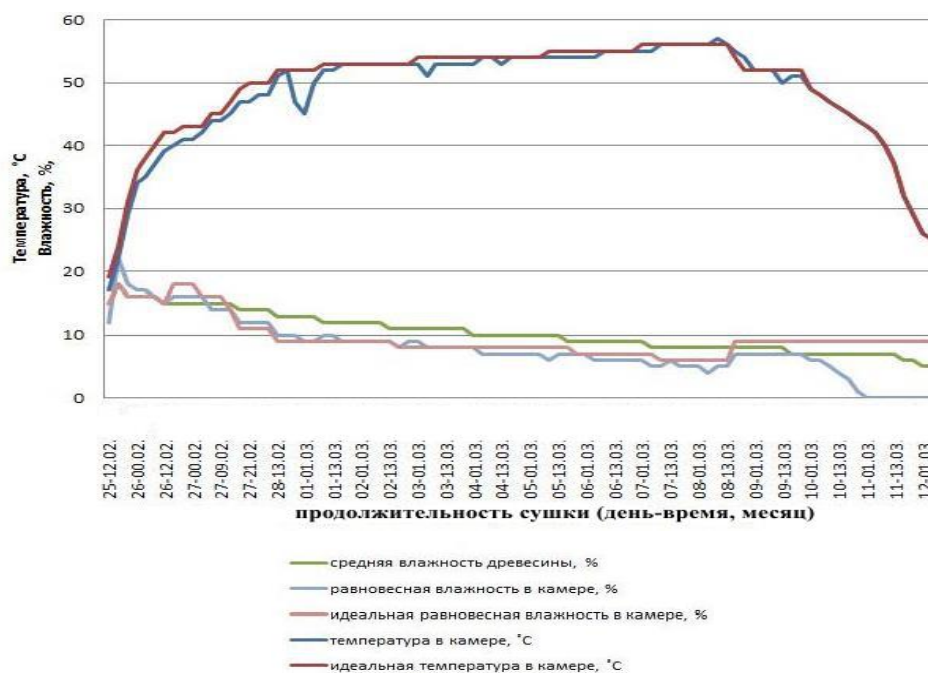


Рисунок 2 – График сушки пиломатериалов

Предложенный режим использовался менее года, произведено лишь по несколько сушек конкретных сечений пиломатериалов древесины бука. Однако достигнутое существенное повышение качества высушенной древесины, в том числе, трудно высушиваемых пород, позволяет сделать выводы: предлагаемый многоступенчатый режим может стать альтернативным режимом РТМ или регламентированным ГОСТ 19773-74 [3], предназначенным для сушки древесины лиственных пород в паровоздушной среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки древесины. ОАО "Научдревпром-ЦНИИМОД", 2000. – 143 с.
2. ГОСТ 16588 91 Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности. М.: Изд-во стандартов, 1992.
3. ГОСТ 19773-74. Пиломатериалы хвойных и лиственных пород. Режимы сушки в камерах периодического действия. Типовые технологические процессы. М.: Изд-во стандартов, 1979.

УДК 678.002:674.048

А.И. Дмитренко, доц., канд. техн. наук (РФ, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова», г. Воронеж);

С.С. Никулин, проф., д-р техн. наук (РФ, ВУНЦ ВВС «Военно-воздушная академия им. проф. Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», г. Воронеж);

Н.С. Никулина, ст. преп., канд. техн. наук
(РФ, ФГБУ ДПО «Воронежский институт повышения квалификации сотрудников ГПС МЧС России», г. Воронеж)

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ОЛЕИНОВОЙ КИСЛОТЫ И ОТХОДОВ РАСТИТЕЛЬНОГО МАСЛА ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ

Главным недостатком применения природной древесины в отраслях промышленной индустрии и в быту является ее способность впитывать пары воды и капельно-жидкую влагу, что приводит к ухудшению ее свойств. Поэтому актуальными являются работы по поиску безопасных и эффективных составов для защитной обработки древесины.

В предыдущих исследованиях показана перспективность использования отработанных растительных масел, являющимися отходами пищевой промышленности, для защитной обработки и модификации натуральной древесины. Показано, что наибольшее влияние на основные показатели водостойкости древесины березы оказывают следующие факторы: температура пропиточного масла, продолжительность пропитки древесины, температура и продолжительность термообработки пропитанных образцов. Кроме того, исследованы особенности применения олеиновой кислоты для защитной обработки древесины. Предлагаемая технология позволяет получать древесину с высокими декоративными свойствами и повысить водостойкость природной древесины.

Целью данной работы является сравнительный анализ использования олеиновой кислоты и отходов растительного масла для защитной обработки древесины на примере березы. Объектами исследования были выбраны образцы древесины березы обычной, заготовленные в опытном учебном лесничестве ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова». Для пропитки готовили образцы древесины размером 20 x 20 мм в радиальном и тангенциальном направлениях, высотой вдоль волокон 10 мм. Для пропитки древесины применяли олеиновую кислоту и использованное после приготовления пищи рафинированное подсолнеч-

ное масло. Согласно Федеральному классификационному каталогу отходов (редакция от 18.11.2021) отходы фритюра на основе растительного масла имеют низкую токсичность и относятся к отходам 4 класса опасности (код ФККО:736 111 11 3 24). Пропитку осуществляли методом «горче-холодных ванн». Пропиточный состав нагревали до заданной температуры, в который помещали образцы и выдерживали в течение определенного времени, затем переносили в пропиточный состав, имеющий температуру окружающей среды, где пропитка проходила в течение такого же времени.

Для сравнения процесса модифицирования древесины березы олеиновой кислотой и отработанным растительным маслом использовали метод планирования эксперимента по схеме греко-латинского квадрата четвертого порядка. В качестве основных факторов, оказывающих влияние на свойства модифицированных образцов древесины, были выбраны: температура пропиточного состава, продолжительность пропитки, температура и продолжительность термообработки. Оценку пропиточного состава проводили по следующим физическим показателям: содержание пропиточного состава в древесине (ГОСТ 20022.6-93), водопоглощение за одни и тридцать суток нахождения в воде (ГОСТ 16483.20-72), разбухание в тангенциальном и радиальном направлениях (ГОСТ 16483.35-88). Поверхностное натяжение древесины определяли по краевому углу смачивания. Краевой угол смачивания древесины дистиллированной водой измеряли методом лежащей капли на собранном в лаборатории гониометре с использованием программы NView 10. Жидкость на поверхность древесины наносили микрошприцом объемом 0,01 мл. Изображение регистрировали с помощью портативной камеры микроскопа Digital Microscope (Ruihoge, Китай) и фиксировали в течение 1, 30, 60, 90 секунд. Кинематическую вязкость исследуемых пропиточных составов на основе растительного масла определяли при помощи вискозиметра ВПЖ-3. Получены уравнения регрессии, описывающие влияние параметров процесса пропитки олеиновой кислотой и отработанного растительного маслом на показатели водопоглощения и разбухания модифицированной древесины.

Как следует из анализа полученных данных, как чистая олеиновая кислота, так и отработанное растительное масло легко и на достаточную глубину впитываются в древесный материал и, высыхая, образуют прозрачную и прочную пленку на поверхности древесины. Если

обычное подсолнечное масло плохо высыхает на поверхности древесины, то у отработанного растительного масла этот процесс идет значительно быстрее. Это связано с тем, что многократная термическая обработка растительного масла увеличивает содержание в нем жирных кислот. Кроме того, в нем образуются новые функциональные группы, что способствует его закреплению растительного масла в структурах древесины.

Показано, что обработка древесины березы олеиновой кислотой снижает ее водопоглощение в три раза после 1 суток испытаний и приблизительно в два раза – после 30 суток нахождения в воде. В этих же пределах снижается водопоглощение древесины при ее обработке отходами рафинированного подсолнечного масла. Разработаны и исследованы составы для защитной обработки древесины на основе отработанного подсолнечного масла, включающие в качестве наполнителей древесную муку хвойных пород, крахмал и свинцово-марганцевый жидкообразный сиккатив осажденного типа.

Сравнение поверхностного натяжения обработанной и необработанной древесины березы показывает, что обработка отходами растительного масла делает природную древесину гидрофобной. Так, модификация древесины березы отходами подсолнечного масла увеличивает краевой угол смачивания более чем в 2 раза по сравнению с незащищенной натуральной древесиной. Использование состава на основе масла, древесной муки и сиккатива повышает значение краевого угла смачивания в 3.5 раза, делая её особенно гидрофобной.

Таким образом, разработанные составы для обработки натуральной древесины на основе олеиновой кислоты и отходов растительных масел позволяют эффективно защищать её от внешних воздействий, существенно уменьшая разбухание, водо- и влагопоглощение древесины, что даст возможность расширить области применения природной древесины малоценных пород. При этом предлагаемые пропиточные составы являются малоопасными отходами для человека.

УДК 630

А.Б. Жирнов, проф., д-р техн. наук
(Дальневосточный ГАУ г. Благовещенск)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛУЩЕНОГО ШПОНА ИЗ БЕРЕЗЫ ПЛОСКОЛИСТНОЙ

Предприятия лесного комплекса Амурской области можно условно разделить по объему заготавливаемой древесины и по качеству производимой продукции, зависящей от технологий, применяемых на производстве и квалификации работников: Предприятиями отрасли экспортировано 340,6 тыс. м³ лесопродукции, в том числе лесоматериала необработанного 300,6 тыс. м³, лесоматериала распиленного 40,0 тыс. м³. По данным Благовещенской таможни, задекларированная стоимость лесопродукции составила 26,4 млн. долларов. Развитие глубокой переработки древесины является приоритетным направлением работы лесопромышленного комплекса в Амурской области [1].

Целью исследований является определение прочностных свойств лущеного шпона из березы и ее использование в переработке.

Задачи исследований:

- описать существующие технологические процессы переработки березы для лущеного шпона;
- исследовать прочностные характеристики лущеного шпона из березы плосколистной.

Шпон является одним из главных материалов в процессе облицовки изделий из древесины [2].

Лущёный шпон изготавливают при помощи срезания пластов лесоматериалов по спирали с вращающейся на аппарате цилиндрической заготовки. Вследствие такого срезания он отличается наибольшей шириной. Чаще всего для изготовления лущёного шпона применяют бюджетные и распространённые сорта лесоматериалов, к примеру, берёза. Амурская область уникальна своими природными ресурсами. Береза достаточно распространена на территории Дальнего Востока [3,4]. Лесоматериалы этой породы востребованы, из-за доступности, красоты и отличных эксплуатационных свойств. Береза лучше других пород подходит для лущения, т.к. она имеет ряд достоинств: малая сбежистость; однородность структуры; высокая прочность [1].

Технологический процесс производства шпона складывается из следующих операций: доставка сырья на склад хранения лесоматериалов; раскрой кряжей на чураки; гидротермическая обработка сырья;

окорка сырья; лущение чураков; раскрой ленты шпона на форматные листы и отбор кускового делового шпона; сушка шпона; сортировка готовой продукции.

Исследования прочностных свойств образцов проводились на универсальной испытательной электромеханической машине серии WDW 50E. Машина предназначена для статических испытаний образцов на растяжение, сжатие и изгиб в соответствии с международным стандартом.

ISO 6892-1998. Управление и система отображения информации - персональный компьютер; программное обеспечение обработки данных плюс контроллер Shijin, а также принтер образуют систему контроля и обработки данных испытательной машины. Также задавалось время нахождения кюветы в сушильном шкафу. По окончании заданного времени проводились операции в обратном порядке. После подсушивания образцы собирались в пакет с прокладками и помещались в сушильный шкаф на просушку.

Для устранения деформации образцов шпона сушильные пакеты зажимались струбцинами. Сушка образцов проводилась до влажности 8% + 2%. Температурный режим поддерживался в автоматическом режиме в пределах 103 + 2°C.

После сушки и выдержки при комнатной температуре образцы шпона распиливались на полоски шириной 50 мм, длиной 550 мм и толщиной 30 мм. Причем половина образцов имела продольное направление волокон, а вторая половина - поперечное.

В процессе проведения эксперимента соблюдались условия, обеспечивающие минимизацию погрешности показаний: контролировалась вес образцов каждой партии; температура, влажность, вес.

Подготовленные образцы исследовались на прочность в продольном и поперечном направлениях

Таблица 1 – Показатели прочности шпона при продольном и поперечном усилии разрывной машины

Номер образца	Показатель поперечного усилия на растяжения, МП (вдоль волокон)	Показатель продольного усилия на растяжения, МП (поперек волокон)
1	7,5	9,9
2	4,0	7,8
3	5,5	9,6
4	9,5	13,0
5	7,5	14,6
6	1,0	14,8
7	6,5	0

Разрывная машина предназначена для статических испытаний образцов на растяжение, сжатие и изгиб в соответствии с международным стандартом SO 6892-1998. Управление и система отображения информации – персональный компьютер; программное обеспечение обработки данных плюс контроллер Shijin.

Анализируя полученные факторы распределения можно сделать следующие выводы:

1. Максимальная прочность исследуемых образцов древесины при растяжении поперек волокон составила 5,9 МПа, вдоль волокон 61,6 МПа получена при следующих факторах:

- влажность - 8 %;
- температура - 20 °C;
- вес образца - 0,2 кг.

Увеличение прочности в сравнении с контрольными образцами (4,53 МПа) составило 19,6%.

2. Достоверность полученных исследований по прочности шпона определялась на основе U-критерия Манна-Уитни.

3. Возможно применение данного способа определения прочности шпона при использовании его в качестве облицовочного слоя в производстве, например, декоративных панелей или паркета.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основы ведения лесного хозяйства и организации лесопользования: учеб. пособие / В.Т. Яборов, О.В. Хайлова, А.Б. Жирнов [и др.]. – Благовещенск: ДальГАУ, 2005. – 293 с. 1.

2. ГОСТ №99-96 «Шпон лущеный. Технические условия».

3. Юст, Н.А Анализ таксационных показатели средневозрастных древостоев сосны обыкновенной в Шимановском И Тындинском лесничествах Амурской области Юст Н.А. В книге: агропромышленный комплекс: проблемы и перспективы развития. тезисы докладов всероссийской научно-практической конференции. Благовещенск, 2020. С. 222.

4. Юст Н., Тимченко Н., Щербакова О. / Сравнительный анализ дендрофлоры парков Благовещенска В: Муратов А., Игнатьева С. Фундаментальные и прикладные научные исследования в развитии сельского хозяйства на Дальнем Востоке (АФЭ-2021). АФЭ 2021. Конспект лекций по сетям и системам, том 353 с. 589-601 . Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91402-8_66

УДК 630.36:625.1/7

А.М. Лось, ст. преп.; А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук.;
 А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук; С. В. Ярмолик, ст. преп.
 (БГТУ, г. Минск)

ПРИМЕНЕНИЕ ТРОСО-БЛОЧНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЗАПАСА ПРОЧНОСТИ КРАНОВЫХ НЕСУЩИХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Введение. В настоящее время широкое распространение получили многокомпонентные несущие конструкции, состоящие из металлических или железобетонных рам и тросо-блочной (вантовой) системы. Применение таких конструкций позволяет перераспределить напряжения в стержнях и узлах несущей рамы, особенно в тех случаях, когда тросы в системе имеют предварительное натяжение. Предварительно напряженные конструкции более эффективны за счет применения высокопрочных материалов и более полного использования их физико-механических свойств.

Основная часть. Модель пролета несущей рамы мостового крана представлена на рисунке 1. Такая рама состоит из верхнего и нижнего продольных поясов с крестообразными решетками заполнения, а также вертикально расположенных наклонных раскосов. На рисунке 1 показаны результаты исследований нагруженности узлов и стержней рамы под воздействием вертикальных нагрузок. Как показывают результаты исследований, при действии максимальной нагрузки растягивающие напряжения в стержнях рамы достигают величины $65,7 \text{ Н/мм}^2$.

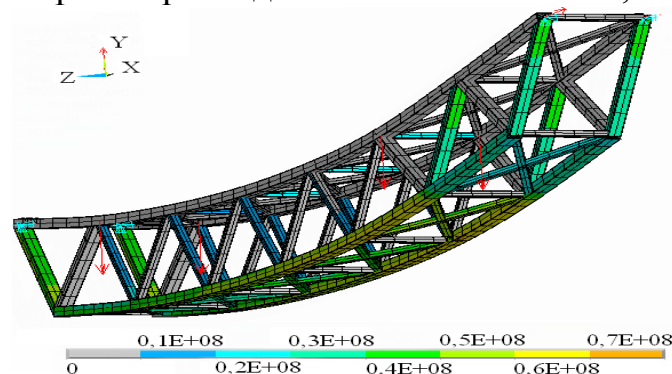


Рисунок 1 – Напряжения, возникающие в элементах рамы под воздействием статических вертикальных нагрузок

Модель рамы, в конструкции которой использованы предварительно напряженные тросы, показана на рисунке 2. Концы тросов в

данной конструкции зафиксированы в верхних углах рамы и проходят через элементы нижнего пояса, огибая при этом обводные блоки, закрепленные на поперечинах нижнего пояса. Исследования нагруженности элементов рамы моделировались для заданных начальных напряжений растяжения тросов величиной 100 Н/мм^2 . Расчетами установлено, что для того чтобы в реальных условиях создать в тросах такие напряжения, необходимо использовать канаты диаметром $d_k = 20 \text{ мм}$, при их маркировочной группе на разрыв 1764 МПа и натягивать их с усилием $F = 10\,000 \text{ Н}$. Для обеспечения высокой долговечности канатов диаметр применяемых обводных блоков, должен быть не менее 250 мм . Уменьшение размеров блоков приведет к ускоренному выходу из строя канатов, из-за повышенных напряжений изгиба в местах соприкосновения их с блоками, напряжений растяжения и кручения от натяжения каната и специфики свивки прядей.

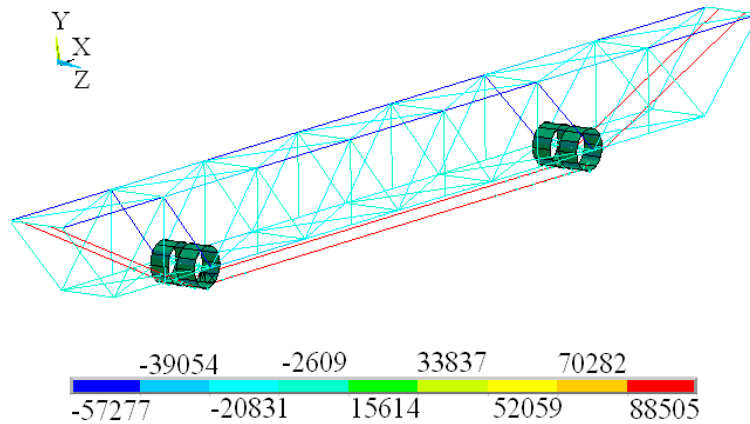


Рисунок 2 – Модель несущей рамы с предварительно напряженными тросами

На рисунке 2 показаны напряжения элементов при натяжении тросов до 100 кН и отсутствующих внешних нагрузках. В верхнем поясе рамы возникают усилия сжатия стержней величиной порядка 21 кН , а минимальное усилие в верхней части рамы (точка MN) составляет 57 кН . Более подробно как изменяются напряжения на участках различных элементов рамы от такого нагружения можно увидеть на рисунке 3.

Напряженно-деформированное состояние рамы при использовании в ее конструкции предварительно напряженных тросов и действующих внешних нагрузках показано на рис. 4 и 5. Максимальные эквивалентные напряжения (точка MX) составляют 225 Н/мм^2 . Наибольший прогиб конструкции в таком случае составляет 24 мм .

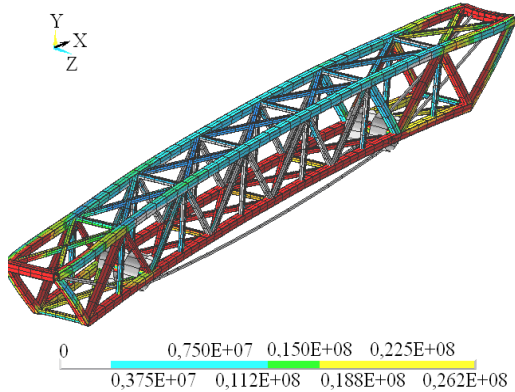


Рисунок 3 – Конечно-элементная модель рамы с предварительно напряженными тросами при отсутствующей внешней нагрузке

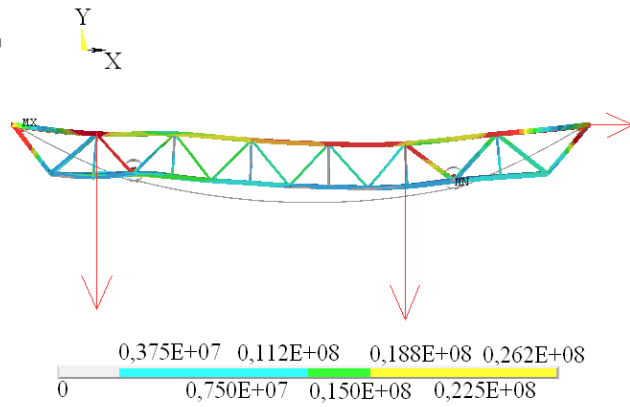


Рисунок 4 – Напряжения в элементах рамы при натянутых тросах и действующих внешних нагрузках

На рисунке 5 более четко заметно, что верхние пояса несущей рамы находятся преобладающей своей частью в зоне сжатия, в то время как нижний пояс оказывается растянутым, а на рисунке 1 очевидно обратное. Максимальные напряжения в элементах рамы достигают здесь значения 34 Н/мм^2 (за исключением поперечин, на которых устанавливаются обводные блоки), что почти в два раза ниже, чем в стержнях рамы без использования тросов.

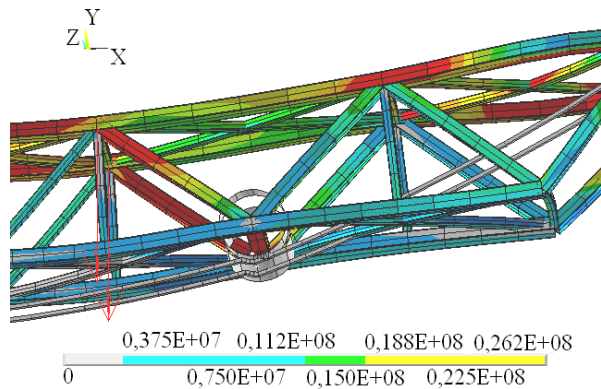


Рисунок 5 – Локальные эквивалентные напряжения в элементах рамы при натянутых тросах и действующих внешних нагрузках

На рисунке 6 показано распределение эквивалентных напряжений в поперечине крепления обводного блока, огибаемого канатом. Прогиб в данном случае достигает довольно большого значения, что требует в таком случае увеличения рабочей площади сечения поперечины.

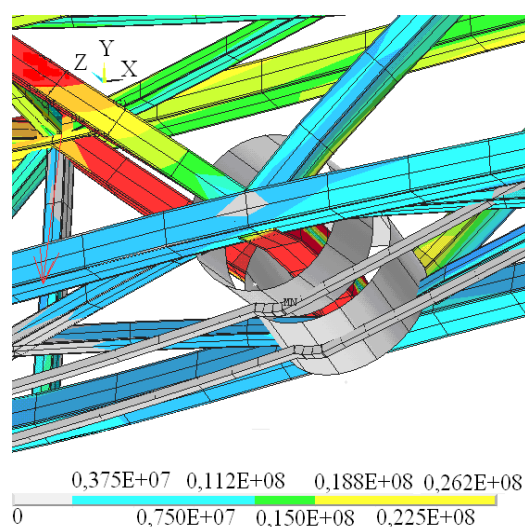


Рисунок 6 – Локальные эквивалентные напряжения в поперечине крепления обводного блока каната

Заключение. Применение тросо-блочной системы для предварительного напряжения несущей рамы имеет некоторые преимущества: так стальные тросы представляют собой систему многократно дублируемых несущих элементов, обладающих высокой надежностью; в стальных тросах несущие элементы соединяются параллельно и при выходе из строя одного из них прочность троса уменьшается незначительно; тросы обладают демпфирующей способностью; по количеству визуально определенных разорванных проволок легко судить о дальнейшей возможности эксплуатации троса.

Проведенные исследования показывают, что при использовании в нижнем поясе рамы предварительно напряженных тросов изменяется характер распределения напряжений в узлах и стержня, а именно, элементы нижнего пояса сжимаются, а верхнего – растягиваются. Максимальные значения напряжений при этом снижаются с $65,7 \text{ Н/мм}^2$ до 34 Н/мм^2 , что дает возможность уменьшить размеры сечений стержней рамы, а вместе с этим и ее вес, и коэффициент тары транспортного средства в целом. Значительных напряжений в поперечине крепления обводных блоков можно избежать при использовании элемента с большей площадью поперечного сечения. Запас прочности конструкции увеличивается в 1,9 раза.

УДК 674.023

А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук; Адель Рашид;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук.;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ПОВЫШЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАЛОСТИ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКОЙ

Введение. Сегодня сплавы на основе алюминия являются вторыми по применяемости, уступая только сплавам на основе железа. По данным Международного института алюминия [1] производство первичного алюминия сегодня достигло десятков млн. т в год и продолжает неуклонно расти.

В мировой практике в настоящее время активно используют два процесса получения алюминия:

- первичного алюминия из глинозема методом электролиза;
- вторичного из лома и отходов производства путем их переплавки. Главным достоинством первого процесса является высокое качество продукции, главным недостатком – высокий расход электроэнергии. Несмотря на то, что в течение 20-го столетия энергозатраты на электролиз снизились в среднем с 50 до 14 кВт·ч/кг алюминия, их доля в себестоимости продукции составляет 25-30 %. Кроме того, примерно 15 % себестоимости включают затраты на углеродные аноды.

Серьезным недостатком классической технологии получения первичного алюминия является также выделение больших количеств угарного газа и двуокиси углерода в результате сгорания углеродного анода. В мире постоянно ведутся работы по устранению отмеченных недостатков. Так, по данным корпорации «РУСАЛ» [2], наиболее перспективной видится технология, предусматривающая применение инертного анода из алюминиевой бронзы. Применение таких электродов позволит эффективнее использовать электроэнергию и улучшить экологическую обстановку за счет полного исключения выбросов парниковых газов и полиароматических углеводородов (в производстве по классической технологии на одну тонну алюминия расходуется до 500 кг угольных анодов). Ожидается, что применение такого подхода позволят снизить расход энергии до 9-10 кВт·ч/кг.

В мире наиболее крупными потребителями алюминия и, соответственно, поставщиками его скрапа, являются: транспорт, строительная и пищевая промышленность, машиностроение. Широкое применение алюминия и сплавов на его основе в транспортном машино-

строении определяется высокими показателями удельной прочности, повышенной коррозионной стойкостью, а также способностью к демпфированию колебаний и большому поглощению энергии. Особенно важны эти показатели при производстве легковых автомобилей. В связи с этим темпы использования изделий из алюминиевых сплавов в легковых автомобилях имеют устойчивую тенденцию к росту.

В связи с тем, что используемые и перспективные технологии электролиза энергозатратны и вносят существенный вклад в себестоимость производства первичного алюминия, а соответственно и сплавов на его основе, весьма перспективным является использование вторичного алюминия. Энергозатраты на получение из него сплавов при плавке в электропечах составляют около 0,4 кВт·ч. [3], что в 35 раз ниже, чем при производстве первичного алюминия методом электролиза.

Известно, что основной проблемой рециклинга является более низкое качество сплавов по сравнению с полученными из первичного алюминия. Объясняется это тем, что поступающий на переработку металл в значительной степени загрязнен посторонними материалами – пластиком, маслами, деталями из других конструкционных материалов. В связи с этим, вторичные сплавы алюминия содержат большое количество интерметаллидных фаз, неметаллических включений, растворенных газов, отличаются гетерогенностью структуры и поэтому значительно уступают по служебным и механическим свойствам первичным.

Основными технологическими процессами, позволяющими достичь высокого качества вторичных алюминиевых сплавов, являются [4]:

- сортировка скрапа, обеспечивающая получение требуемого состава при минимуме нежелательных примесей (железа, магния и др.);
- рафинирование, легирование и модифицирование сплавов;
- плавка в дуговых печах постоянного тока, дающая возможность отказаться от процессов рафинирования и модифицирования, в три раза снизить затраты на переплав по сравнению с газовыми печами.

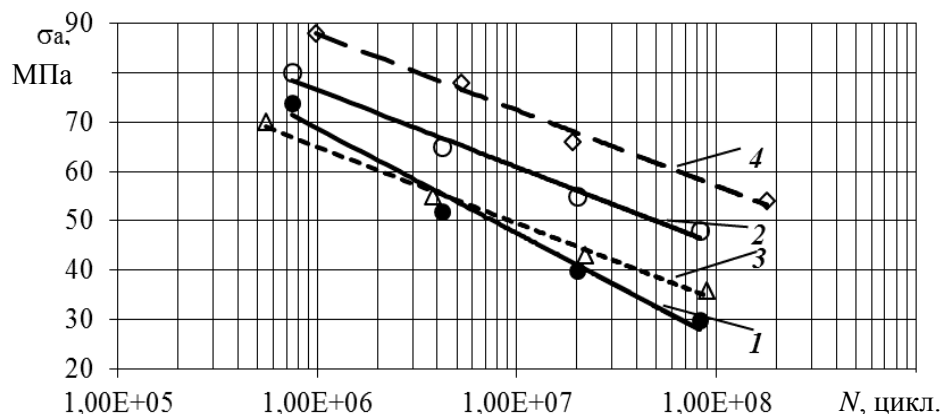
Для повышения эксплуатационных характеристик деталей, изготовленных из вторичных алюминиевых сплавов можно использовать импульсную тепловую обработку их поверхностей при помощи промышленных лазерных установок. Так, авторы [5] показали, что применение такой обработки обеспечивает 2-3 кратное повышение микротвердости поверхности образцов. Подобная обработка, однако, приводит к снижению характеристик усталости [6]. Поэтому актуальной задачей является повышение характеристик усталости дополнительной

финишной термической и механической обработкой. Целью данной работы было исследование влияния импульсной тепловой обработки на характеристики усталости образцов, изготовленных из вторичных алюминиевых сплавов.

Основная часть. Исследования проводились на образцах из сплава по химическому составу подобному на АК9МЗ со следующим химическим составом: 9,65-9,93 % Si, 2,82-3,12 % Cu, 0,024-0,071 % Mn, 0,053-0,11 Mg, до 1,5%Fe, остальное – Al. Образцы представляли собой плоские балочки с прямоугольным поперечным сечением (2×6 мм).

Поверхностное упрочнение методом тепловой импульсной обработки проводилось по рекомендациям специалистов Запорожского национального технического университета (Украина) на импульсном лазере «Квант-12» по следующим режимам: $\tau = 4$ мс, $\lambda = 0,6943$ мкм, при этом перекрытие трасс оплавления на обрабатываемой поверхности состояло 25-35%. Оплавление плоских образцов толщиной 2 мм производилось с двух сторон. Толщина оплавленного слоя составляла в среднем около 200 ± 50 мкм. Также при разливке сплав был обработан модификатором [7].

Усталостные характеристики образцов после различных видов обработки определялись на оборудовании, позволяющем производить ускоренное прогнозирование характеристик усталости с использованием высоких частот нагружения (до $18 \pm 0,5$ кГц). В результате было установлено, что снятие части оплавленного слоя полированием позволило существенно улучшить характеристики усталости образцов подвергнутых тепловому воздействию (рисунок 1).



1 – сплав, полученный без использования модификатора [7], 2 – сплав, полученный с использованием модификатора [7], 3 – после импульсной тепловой обработки; 4 – после импульсной тепловой обработки, полирования и старения

Рисунок 1 – Усталостные кривые 50% вероятности разрушения образцов из сплава АК9М2 (1,5% Fe)

Заключение. Проведение комплексной обработки, включающей использование на стадии переплавки модификатора [7], импульсную тепловую обработку с последующим старением и полированием, существенно повышает сопротивление разрушению под действием циклических нагрузок. Наилучшие результаты достигнуты при содержании железа в сплаве около 1-1,5%, что может быть объяснено трансформацией железосодержащих фаз при лазерной обработке.

Таким образом, предложенная комплексная обработка алюминиевых сплавов, включающая, кроме лазерной закалки, старение и финишное полирование, является перспективным для вторичных алюминиевых сплавов и обеспечивает возможность использования таких материалов для изготовления деталей, работающих в условиях циклического нагружения, а также интенсивного изнашивания.

ЛИТЕРАТУРА

1. International Aluminium Institute [Electronic resource] – Mode of access: https://stats.world-aluminium.org/iai/stats_new/index.asp. – Date of access: 12.12.2021.

2. РУСАЛ [Электронный ресурс] – Режим доступа: http://www.rusal.ru/development/innovations/inert_anode.aspx. – Дата доступа 14.05.2011.

3. Макаров, Г.С. Российский рынок вторичного алюминия / Г.С. Макаров // Рынок вторичных металлов. – 2004. – № 5/25. – С.70-73.

4. Рязанов, С.Г. Тенденции и проблемы использования вторичных алюминиевых сплавов / С.Г. Рязанов, А.А. Митяев, И.П. Волчок // Nauka i Technologia: Труды VI конференции. – Zakopane. – 2003. – С. 99–102.

5. Гиржон В.В., Танцюра И.В., Волчок И.П., Широкобокова Н.В. Влияние лазерной обработки на структуру и свойства поверхностных слоев силуминов //Физика и химия обработки материалов. – 2008. - № 1. – С.50-54.

6. Царук, Ф.Ф. Влияние содержания железа и лазерной обработки на высокочастотные усталостные свойства сплава АК8МЗ / С.Е.Бельский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVIII. – С. 10-213.

УДК 674.023

А.В. Блохин доц., канд. техн. наук; Адель Рашид;
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук.;
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СПЛАВОВ НА ОСНОВЕ АЛЮМИНИЯ

Введение. Высокая стоимость получения первичных литейных алюминиевых сплавов из руды методом электролиза делает актуальной использование сплавов, полученных из металлического лома и других отходов, содержащих алюминий.

Однако основной проблемой переработки алюминий содержащих отходов является более низкое качество сплавов (в первую очередь – низкие механические характеристики и литейные свойства) по сравнению с полученными из первичного алюминия. Поступающий на переработку металл в значительной степени загрязнен посторонними материалами – пластиком, маслами, деталями из других конструкционных материалов. В связи с этим, вторичные сплавы алюминия содержат большое количество интерметаллидных фаз, неметаллических включений, растворенных газов, отличаются гетерогенностью структуры и, как следствие, значительно уступают по служебным и механическим свойствам первичным.

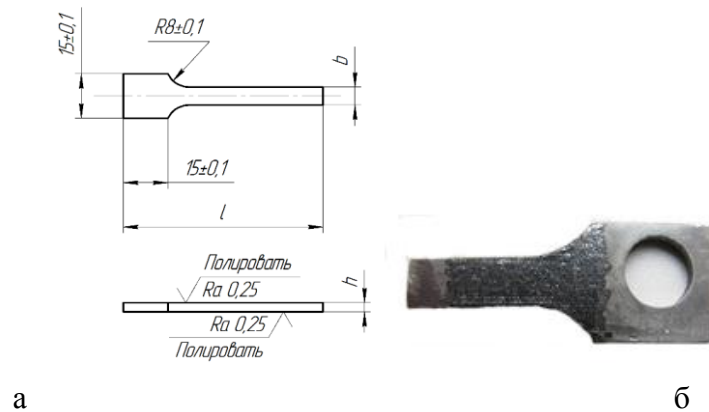
Расширение сферы использования вторичных литейных алюминиевых сплавов требует существенного повышения их механических характеристик, в том числе – усталостных.

Наиболее распространенной и вредной примесью является железо, образующее различные интерметаллидные фазы, значительно снижающее ряд механических свойств и особенно характеристики усталости таких материалов [1-2]. Таким образом, существенно ограничивается применение таких материалов для изготовления деталей мобильных машин, а также технологического оборудования, работающего в условиях циклических нагрузок широкого диапазона частот.

Целью данной работы было исследование эффективности использования термоциклической обработки деталей, изготовленных из вторичных алюминиевых сплавов с различным содержанием железа, с точки зрения влияния такой обработки на характеристики усталости.

Основная часть. Исследования проводились на образцах для испытаний, которые представляли собой плоские балочки с прямо-

угольным поперечным сечением (см. рисунок 1). Образцы изготавливались из сплава АК9М2 со следующим химическим составом: 9,23-9,74 % Si, 1,82-2,38 % Cu, 0,043-0,068 % Mn, 0,055-0,08 Mg. По содержанию железа (Fe) образцы были разбиты на четыре группы: 1 – 0,4-0,6%, 2 – 0,8-1,2% и 2 – 1,4-1,6%, 4 – 1,8-2,0%. При разливке сплав был обработан модификатором [3].



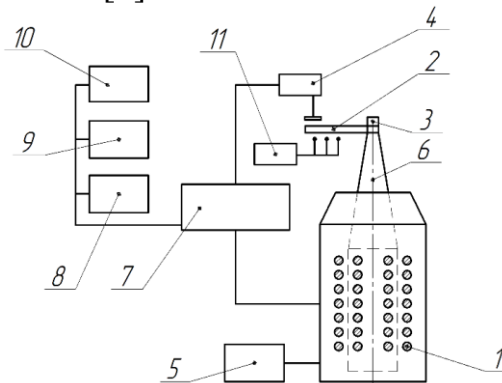
а

б

а – эскиз; б – фотография образца

Рисунок 1 – Образцы для испытаний

Для проведения испытаний на высокой частоте ($18 \pm 0,5$ кГц) использовался магнестрикционный стенд (рис. 2), работающий в автоколебательном режиме [4].

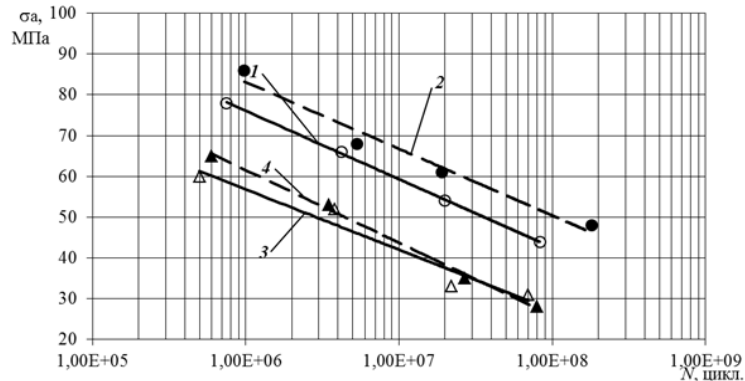


1 – магнестрикционный преобразователь с катушками возбуждения и подмагничивания; 2 – образец; 3 – устройство крепления; 4 – виброметр МРТИ; 5 – модуль подмагничивания; 6 – концентратор-волновод; 7 – прибор стабилизации амплитуды ПСА; 8 – частотомер; 9 – осциллограф; 10 – устройство вывода на печать; 11 – контроллер температуры.

Рисунок 2 – Схема испытательного стенда для возбуждения изгибных колебаний

В результате было установлено, что на усталостные характеристики алюминиевых сплавов существенное влияние оказывает железо (рисунок 3). Приведенные зависимости показывают, что с ростом процента содержания железа происходит снижение усталостных характе-

ристик образцов. Негативное влияние роста содержания железа оказывает и на эффективность проводимой термоциклической обработки (кривые 3 и 4 на рисунке 3).



1, 3 – образцы, изготовленные из сплава с последующей термообработкой T5;
2, 4 – образцы, изготовленные из сплава с последующей термоциклической обработкой; 1, 2 – содержание железа 0,8-1,2%; 3, 4 – содержание железа 1,8-2,0%

Рисунок 3 – Усталостные кривые 50% вероятности разрушения образцов из сплава АК9М2 (частота испытаний $18 \pm 0,5$ кГц)

Закключение. Использование термоциклической обработки образцов для испытаний, изготовленных из вторичных алюминиевых сплавов позволяет существенно повысить характеристики усталости таких материалов при условии, что содержание железа не будет превышать 1%. С ростом содержания железа характеристики усталости таких материалов снижаются, а термоциклическая обработка при содержании железа 2 и более % не оказывает существенного влияния на их изменение.

ЛИТЕРАТУРА

1. Байкин, А.И. Литейные силумины с повышенным содержанием железа /А.И.Байкин, К.П.Лебедев, Ю.М.Степанов, Г.Ф.Шеметев – Л., Знание. – 1983. – 28 с.
2. Блохин, А.В. Влияние состава и технологии выплавки на усталостные характеристики вторичных литейных алюминиевых сплавов /А.В.Блохин, Ф.Ф.Царук, С.Е.Бельский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2008. – Вып. XVI. – С. 310-313.
3. Патент 32929 Україна, МПК (2006) C22C 1/00. Модифікатор для алюмінієвих сплавів / Волчок І.П., Митяев О.А., Лютовпа О.В., Широкобокова Н.В., Повзло В.М. – Заявник і патентоутримувач Запорізький нац. техн. ун-т. № u200800105; опубл. 10.06.2008, Бюл. № 11.
4. Блохин, А.В. Развитие комплекса оборудования для усталостных испытаний конструкционных материалов / А.В. Блохин // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2004. – Вып. XII. – С. 263–266.

УДК 621.785.532

В.Б. Левитан, инж. (ЧУП «Сталекс»);
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук; А.В. Вергейчик студ.
(БГТУ, г.Минск)

ПЕРСПЕКТИВЫ ЗАМЕНЫ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ ШТАМПОВОЙ С ПОВЕРХНОСТНЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

Для многих штамповых инструментов (например, штампов сферодвижной штамповки в условиях МТЗ и на других предприятиях) используются быстрорежущие стали типа Р6М5. Прочность и, особенно, ударная вязкость, таких сталей недостаточна для работы в условиях циклических нагрузок, что приводит к преждевременным поломкам инструмента.

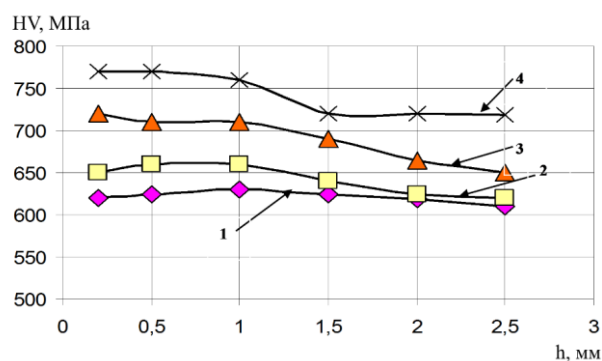
Основной принцип штамповки обкатыванием или сферодвижной штамповки – локализации зоны пластической деформации. При локальной схеме деформирования на большей части обрабатываемой поверхности заготовки происходит восстановление смазывающей пленки, что в значительной мере уменьшает влияние сил трения в паре инструмент-заготовка. Это должно благоприятно сказываться на условиях деформирования и стойкости инструмента. Наиболее эффективным способом считается объемное деформирование заготовки сложного, но не глубокого контура, с малой относительной высотой ($H/D = 0,1-0,2$). Подобная технология широко используется на МТЗ для изготовления конических шестерен дифференциала из стали 20ХНР. Однако, стойкость штампов, изготовленных из стали Р6М5 является очень низкой и в некоторых случаях не превышает 1 000 штамповок. Разрушение штампового инструмента, заключается в трещинообразовании у основания зубьев с последующей их поломкой. Анализ поверхности инструмента на различных этапах эксплуатации показал, что следов изнашивания и пластической деформации не обнаружено. Подобная причина разрушения свидетельствует о переходе у основания зуба матрицы сжимающих напряжений в растягивающие, что и является одной из причин возникновения трещин.

Одним из перспективных направлений как повышения стойкости штампов, так и снижения стоимости данной оснастки является замена быстрорежущей стали Р6М5 штамповой 45ХЗВЗМФС с ее цементацией. Таким образом, определение рациональных параметров цементации штамповой стали является актуальной задачей.

Для обеспечения необходимой твердости, а также износостойкости поверхностного слоя штампов проводилась цементация стали

45X3B3MФC в среде природного газа при температуре 950 °C и выдержке от 10 до 20 часов.

Для изучения свойств диффузионного слоя проводилось измерение микротвердости по его глубине. При проведении отпусков микротвердость поверхностного слоя на стали 45X3B3MФC значительно возрастает (рисунок 1). Некоторое снижение твердости по глубине 0,3–0,7 мм от поверхности после закалки и первого отпуска объясняется образованием и последующим распадом остаточного аустенита, количество которого в этой области велико вследствие высокого содержания углерода.



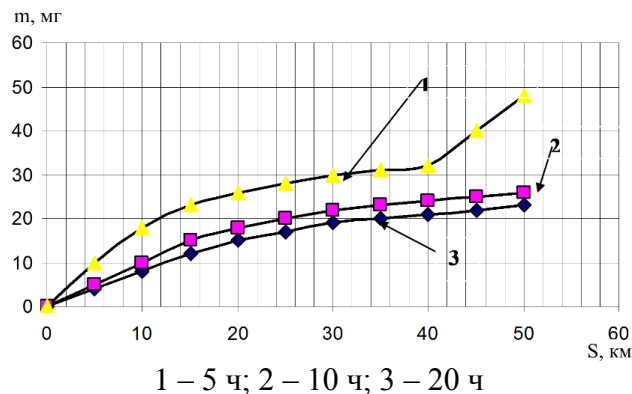
1 – после закалки, 2 – после первого отпуска,
3 – после второго отпуска, 4 – после третьего отпуска

Рисунок 1 – Распределение микротвердости по глубине цементированного слоя h стали 45X3B3MФC при времени обработки 12 часов

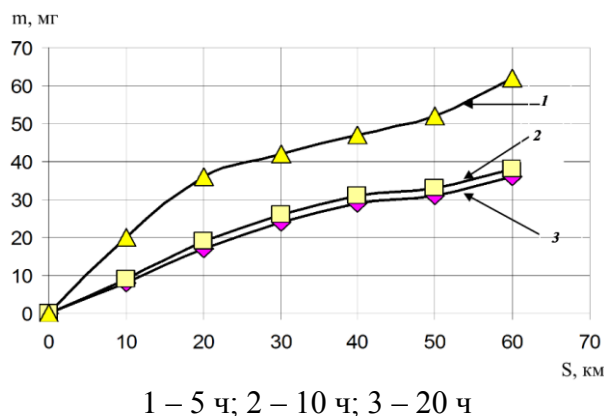
Для определения эксплуатационных характеристик упрочненных слоев в разработанных насыщающих составах и оптимизации температурно-временных параметров процесса упрочнения исследована кинетика изнашивания экспериментальных образцов после проведения ХТО при различных режимах. Необходимо отметить, что как показали проведенные исследования, диффузионные слои характеризуются неоднородностью структуры и химического состава, а также значительными колебаниями по толщине и твердости. В связи с этим сопротивление изнашиванию является важным критерием физико-механических и эксплуатационных свойств, так как позволяет оценить служебные свойства материалов, упрочненных при различных условиях.

Кривые износа, приведенные на рисунках 2, 3 вполне отражают общепринятые зависимости характерные для эксплуатации деталей, работающих в условиях интенсивного нагружения. Для кривой износа (нагрузка 2,5 МПа), полученной при времени цементации 5 ч характерно наличие трех основных участков, соответствующих основным стадиям развития процесса изнашивания и разрушения поверхностного слоя образца. На первом этапе (до 20 км пробега), соответствующем периоду

приработки, наблюдается более интенсивное изнашивание с потерей массы около 50 % за весь период испытаний. С увеличением нагрузки до 5,5 МПа (рисунок 3) интенсивность изнашивания возрастает в первую очередь при малом времени цементации. Кривые изнашивания сохраняют те же характерные участки, как и при более низкой нагрузке. Следует отметить, что при времени обработки 10 и 20 часов на кривых отмечается только участок приработки (до пути трения до 60 км интенсивного изнашивания не выявлено и при нагрузке 5,5 МПа); при этом различие сопротивления изнашивания при времени обработки 10 и 20 ч практически одинаковое.



1 – 5 ч; 2 – 10 ч; 3 – 20 ч
Рисунок 2 – Изменение величины изнашивания образцов из стали 45X3B3MFC при различном пути трения и нагрузке 2,5 МПа в зависимости от времени цементации



1 – 5 ч; 2 – 10 ч; 3 – 20 ч
Рисунок 3 – Изменение величины изнашивания образцов из стали 45X3B3MFC при различном пути трения при нагрузке 5,5 МПа в зависимости от времени цементации

Механические свойства сердцевины инструмента (с твердостью 54–56 HRC) за счет пониженного содержания углерода и меньшей карбидной неоднородности значительно превосходят свойства стали P6M5. Таким образом, использование стали 45X3B3 МФС вместо быстрорежущей типа P6M5 весьма перспективно для изготовления инструментов, работающих в условиях повышенных давлений, а также ударных нагрузок.

УДК 621.785.532

А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук.;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук.;
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук.;
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук.;
А.М. Лось, ст. преп. (БГТУ, г.Минск)

АНАЛИЗ ПРИЧИН РАЗРУШЕНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ШЛИЦЕВЫХ ВАЛОВ

Известно, что состояние поверхности деталей машин существенно влияет на их различные свойства и, в первую очередь, на износ и сопротивление усталостному разрушению, поскольку зарождение усталостных трещин происходит на поверхности, или вблизи ее.

В связи с интенсификацией рабочих процессов машин и механизмов, повышением требований к режимам их эксплуатации и усложнением современных конструкций, способность их деталей сопротивляться износу и усталостному разрушению приобретает особое значение. Следовательно, вопрос повышения износостойкости и усталостной прочности деталей машин является актуальным.

Распространенными и ответственными деталями различных машин и механизмов являются детали передач – валы и оси, имеющие шлицевые соединения.

Валы коробок передач, раздаточных коробок и редукторов ведущих мостов в эксплуатации практически не имеют усталостных поломок. Выход их из строя происходит в основном из-за износа шлицевых соединений и посадочных поверхностей под шестерни и подшипники. Это объясняется большими коэффициентами запаса прочности указанных изделий, что обусловлено требованиями к жесткости конструкций.

Шлицевые соединения могут иметь следующие дефекты: забоины, сколы, заусеницы на зубьях вала и отверстия, скручивание шлицов, износ сопрягаемых центрируемых поверхностей, износ зубьев вала по толщине.

Основными дефектами соединений являются износ шлицев по толщине, смятия рабочих поверхностей зубьев. Исследования показали, что зазор в прямобочном шлицевом соединении образуется под воздействием ударной нагрузки в результате смятия шлицев впадин по ширине и не параллельность шлицев по отношению оси вала.

Кроме того, среди разрушений шлицевых валов от усталости часто встречающимися в практике эксплуатации являются разрушения по радиусу перехода профиля шлица во впадину. Разрушения проис-

ходят вследствие повышенной концентрации напряжений в галтели, а также, в большинстве случаев, от недостаточно благоприятных в отношении усталости свойств поверхностного слоя материала детали.

В процессе эксплуатации в шлицевых соединениях увеличивается боковой зазор, что вызывает возникновению дополнительных ударных нагрузок, отражаются на работе зубчатых колес, подшипников и др. Особо большой износ наблюдается в шлицевых соединениях в условиях не достаточной смазки и в абразивной среде, например в сельскохозяйственной и лесной технике.

Эффективными средствами уменьшения износа деталей в соединении являются: увеличение твердости контактирующих поверхностей, уменьшение или, по возможности, устранение зазоров, а также совершенная смазка и хорошее уплотнение.

Таким образом, одним из актуальных остается вопрос о дополнительном упрочнении поверхностей.

С целью повышения выносливости и износостойкости шлицевые соединения, как правило, подвергают химико-термической обработке (ХТО). Однако диффузионно-насыщенные слои, как известно, не лишены элементов, способствующих преждевременному возникновению разрушения. Таковыми являются, например, хрупкая ϵ - фаза на поверхности азотированного слоя, а также возможная его пористость, наличие микротрещин и т.д. Кроме того, при диффузионном насыщении поверхности происходит потеря точности геометрических размеров, достигнутой на предшествующих операциях механической обработки. Устранение вышеуказанных дефектов может быть достигнуто путем механического их снятия (шлифования или поверхностного пластического деформирования (ППД)). Однако шлифование, несмотря на свою эффективность, может оставлять за собой и негативные последствия, такие как появление остаточных напряжений растяжения, термическое воздействие (прижоги поверхностного слоя частицами абразива) и другие.

Как показывают многочисленные исследования [1,2], комплексное упрочнение поверхности ХТО и ППД является весьма перспективным и заслуживающим дальнейшего исследования направлением на пути повышения выносливости деталей, однако процесс становится более трудоемким и более затратным.

В результате проведенных нами ранее исследований по применению механических колебаний в процессе жидкостной карбонитрации путем введения их в расплав установлено, что колебания способствуют увеличению толщины упрочненного слоя и поверхностной твердости.

Как отмечено выше для деталей, работающих в подвижных соединениях, кроме характеристик материалов в ряде случаев на эксплуатационные свойства существенное влияние оказывают и геометрические характеристики рабочих поверхностей, такие как размеры, форма и шероховатость.

В связи с этим целью настоящей работы было исследование и анализ воздействия параметров процесса карбонитрации на чистоту поверхности обрабатываемых деталей. Шероховатость поверхности определяли по параметру Ra на профилографе-профилометре. Исследование проводилось на образцах из стали 45, обработанных на различную чистоту поверхности, а затем подвергнутых карбонитрации при температуре 843°K и времени выдержки 2 часа как в обычных условиях, так и с использованием механических колебаний частотой 18 кГц, вводимых в расплав. Результаты исследований (рисунок 1) показывают, что состояние поверхности после диффузионного насыщения в обычных условиях ухудшается на всех образцах. Процент возрастания Ra примерно одинаков при всех исходных значениях шероховатости. Применение колебаний существенно снижает негативное влияние диффузионного насыщения на качество поверхности. Это в первую очередь связано с благоприятным влиянием колебаний на состояние поверхностного карбонитридного слоя, отмеченным микроструктурным анализом (исчезают поры, пустоты, участки коагуляции карбонитридов и т. п.). Этот вывод подтверждают и результаты анализа влияния времени обработки на величину Ra образцов из стали 40X (рисунок 1).

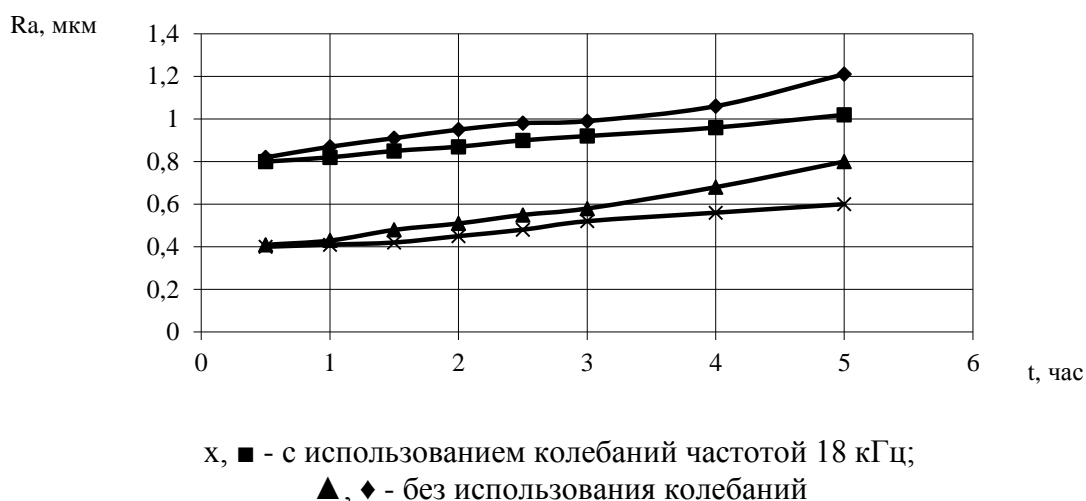


Рисунок 1 – Влияние способа карбонитрации и времени обработки на шероховатость поверхности при различной величине исходной Ra , мкм.

Как видно из приведенных данных, с повышением времени обработки в обычных условиях свыше 3,0-3,5 часов величина Ra начинает быстро возрастать. При упрочнении с использованием колебаний шероховатость по данному параметру при прочих равных условиях уменьшается. Таким образом, введение колебаний более эффективно влияет на качество поверхности при более значительной продолжительности процесса. Улучшение чистоты поверхности за счет использования колебаний является одной из причин сокращения периода приработки, установленного при испытаниях на износ. Результаты исследования износостойкости позволяют предположить достаточно высокую эксплуатационную долговечность восстановленных по исследуемой технологии изделий.

Кроме того, технологический процесс жидкостной карбонитрации по сравнению с другими способами диффузионного насыщения (например, цементацией) проводится при относительно невысокой температуре. Это преимущество наряду с небольшой продолжительностью обработки дает возможность использовать данный метод упрочнения в качестве заключительного процесса в технологической цепочке изготовления или ремонта деталей машин. Следует отметить, что исключение малопроизводительных операций финишной механической обработки поверхностного слоя существенно снижает трудо- и энергоемкость производства изделий, повышает их технологичность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балтер М.А. Упрочнение деталей машин. – М.: Машиностроение, 1972. – 125 с.
2. Вакуленко К.В. Влияние состояния поверхностного слоя на характеристики сопротивления усталости стали 40Х / К.В. Вакуленко, И.Б. Козак, В.М. Мацевитый // Восточноевропейский журнал передовых технологий. 2016. – № 3/5(81). – С.53-61.

УДК 634.377

В.А. Симанович, доц., канд. техн. наук.;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук.;
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ ОСНОВНЫХ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИЙ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КРУТЯЩИХ МОМЕНТОВ В ТРАНСМИССИИ ЛЕСНЫХ МАШИН

Работа колесных агрегатных машин на трелевке и вывозке древесины должна производиться комплексно с учетом преобладающих факторов, оказывающих наибольшее влияние и встречающихся чаще в различных условиях их эксплуатации. Основное внимание при работе колесной лесной технике уделяется эксплуатационной надежности, которая моментально не может быть определена машинально в связи с большим количеством факторов объективного и субъективного характера происхождения.

Наука и исследования по эксплуатационной надежности, как прикладная отрасль знаний базируется на фундаментальные, математические и естественные науки. Особое значение для таких научных исследований имеет вопрос о применении математического аппарата, позволяющего осуществлять оценку и прогнозирование эксплуатационной надежности специальных лесных машин. Достоверные методы прогнозирования долговечности основных узлов и деталей лесных машин необходимы для обоснования проекта на стадии проектирования транспортного средства с учетом специфики эксплуатационных условий, а также для решения таких конструкторско–технологических вопросов как:

- выбор оптимальной структуры энергетического агрегата;
- расчет потребности в запасных частях;
- периодичность плановых технических обслуживаний;
- обоснование требований по эксплуатационной надежности сопряженных деталей.

На наш взгляд главная задача прогнозирования состоит в сокращении сроков доводки проектируемых колесных лесных агрегатных транспортных средств за счет комплексного использования информации о результатах расчетов, испытаний, опытов эксплуатации аналогов в настоящем и прошлом. Процесс создания более современных с точки зрения конструкторов лесных машин на протяжении всего исторического пути сопровождается повышением мощности силовой установки, что приводило к увеличению числа деталей отдельных систем к

критическим по надежности. Все это определяет необходимость совершенствования методик расчетного прогнозирования за счет систематизации ранее выполненных работ и исследований, а также широкого использования статистических данных по результатам эксплуатации машин данной модели и расчетов ресурса на ПЭВМ.

Существует несколько методов для выполнения исследований и расчетов, базирующихся на наличии статистического материала и аппаратно-вычислительного обеспечения самого исследования. В каждом методе есть свои преимущества и недостатки и чтобы избежать их количественного влияния необходимо пользоваться комбинированными методами, объединяющими достоинства основных. Методы расчета основных деталей и узлов специальных колесных лесных машин, заимствованы из автотракторастроения и позволяют с учетом специфики работы оценить динамическую нагруженность, которая и позволяет выйти на прогнозные показатели ресурса работы. В практике расчетных исследований по прогнозированию ресурса обычно преобладают следующие методы:

- прогнозирование по результатам завершенных эксплуатационных испытаний;

- прогнозирование по результатам незавершенных эксплуатационных испытаний;

- прогнозирование по результатам ускоренных испытаний на натурных моделях;

- прогнозирование по результатам испытаний имитационными методами на расчетных моделях;

- прогнозирование ресурса экономико-вероятностными методами. Источником внешних воздействий для колесных агрегатных машин является трелевочный волок, по которому они транспортируют заготовленную древесину. Основной статистической характеристикой случайного процесса является корреляционная функция, по которой могут быть определены дисперсия и спектральная плотность. Для практической оценки динамической нагруженности необходимо знание дисперсии и спектральной плотности процесса.

В последующем была разработана математическая модель колесный трелевочный трактор – пачка деревьев с учетом параметров базовой машины, позволяющая использовать результаты спектрального анализа внешнего воздействия при расчетах динамической нагруженности элементов трансмиссии. Представленная методика определения внешних возмущающих воздействий может быть применена при динамической нагруженности шестерен переднего и заднего мостов.

УДК 674.023

С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Adel Abdel Basset Rashid (Beirut Arab University, Lebanon, Tyre)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАЛОСТИ ШТАМПОВЫХ СТАЛЕЙ

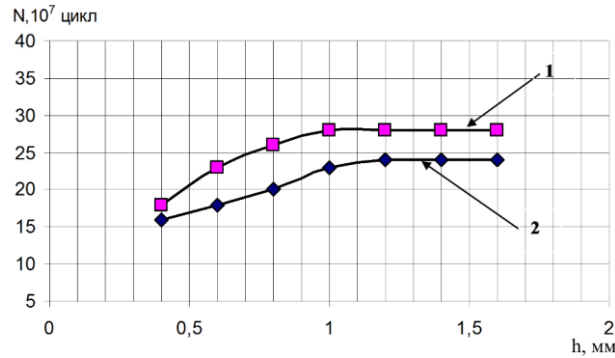
Повышение надежности и долговечности инструмента остается одной из основных задач при проектировании, производстве и техническом обслуживании технологической оснастки различного назначения. Решение этой задачи зависит от мер, принимаемых на различных стадиях создания и эксплуатации изделий. Одним из путей, способствующих решению этой задачи, является применение на определенных этапах методов поверхностного упрочнения, так как в ряде случаев физико-механические характеристики материалов не в полной мере удовлетворяют требуемым условиям эксплуатации инструмента.

Основными преимуществами химико-термической обработки являются доступность и малая стоимость, а также возможность управлять составом и строением тонкого поверхностного слоя, изменяя градиент свойств от поверхности к сердцевине. В результате реализации этих процессов упрочнения износостойкость инструмента, а для ряда из них и циклическая прочность, повышается в несколько раз. Для определения рациональных режимов поверхностного упрочнения проведены усталостные испытания образцов из стали 45Х3В3МФС, прошедших цементацию, а также стали 5ХНМ, прошедшей карбонитрацию.

Испытания проводились в условиях знакопеременного изгиба при частоте нагружения 18 кГц. Методика испытаний, а также используемое оборудование приведены в работах [1, 2].

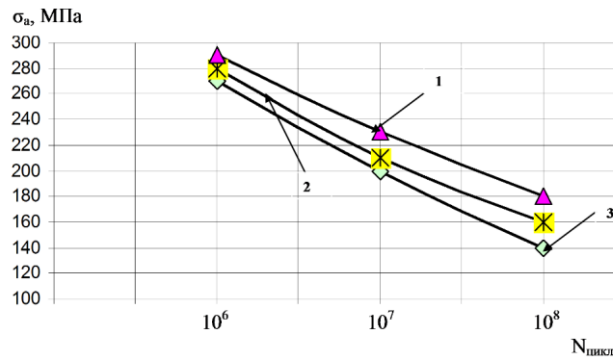
Следует отметить, что существенное повышение характеристик усталости стали 45Х3В3МФС достигается при толщине упрочненного слоя 1,0 мм, что обеспечивается при продолжительности процесса порядка 6–7 ч (при температуре 950 °С) (рисунки 1, 2). Основной причиной повышения числа циклов до разрушения является возникновение в поверхностном слое остаточных напряжений сжатия, благоприятных при работе в условиях знакопеременного нагружения [3, 4]. Как правило, остаточные напряжения сжатия в области локальных пластических деформаций будут замедлять процессы разрушения, протекающие обычно с образованием остаточных напряжений растяжения.

Образцы из прошедшей улучшения стали 5ХНМ, обрабатывались в расплаве кальцинированной соды и мочевины при температурах 550–570°C и продолжительности процесса от 0,5 до 5 часов. Для интенсификации процесса диффузионного насыщения вводили в расплав с помощью грибкового концентратора колебания частотой 3 и 18 кГц.



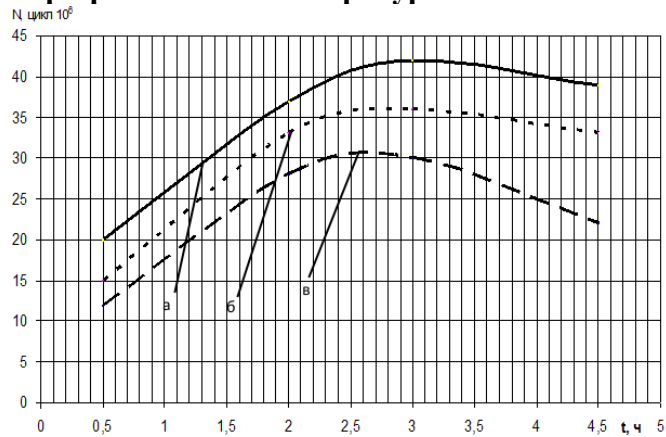
1 – 20 °C; 2 – 200 °C

Рисунок 1 – Влияние толщины упрочненного слоя на усталостную прочность стали 45ХЗВЗМФС при различных температурах испытаний



1 – 20 °C; 2 – 200 °C; 3 – 250 °C

Рисунок 2 – Усталостные кривые стали 45ХВВЗМФС при различных температурных испытаниях



а – 18кГц, б – 3 кГц, в – без колебаний

Рисунок 3 – Влияние способа и времени карбонитрации на усталостную долговечность стали 5ХНМ

Как показывают результаты испытаний, проведенных на частоте нагружения 18 кГц (рисунок 3), применение диффузионного упрочнения существенно повышает усталостную долговечность по числу циклов N до полного разрушения образца. Усталостные характеристики улучшаются даже при непродолжительном времени обработки (0,5 ч). Применение колебаний, обеспечивает повышение числа циклов до разрушения образца на 20–25 % при использовании частоты 18 кГц и на 15–20 % при частоте 3 кГц (при оптимальном времени обработки 2–3 ч). При более длительной обработке, необходимой для получения поверхностных слоев повышенной толщины, введение колебаний в расплав препятствует снижению усталостной долговечности.

Результаты испытаний показывают достаточно высокие характеристики усталости, как при комнатных, так и при повышенных температурах, что создает предпосылки использования рассмотренных сталей для изготовления штампов, работающих в условиях ударных нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блохин А.В., Царук Ф.Ф., Гайдук Н.А. Комплекс оборудования для усталостных испытаний элементов технологического оборудования / Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2002. – Вып. X. – С. 213–215.

2. Блохин А.В. Развитие комплекса оборудования для усталостных испытаний конструкционных материалов / А.В.Блохин // Труды БГТУ. Сер II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2004. – Вып. XII. – С. 263–266.

3. Макаревич С.С. Модель напряженного состояния зубьев деталей трансмиссий трелевочных тракторов / С.С. Макаревич, М.Н. Пищов, С.Е. Бельский // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообаб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII/– С. 327–330.

4. Остаточные напряжения. При электромагнитной наплавке /П.Н.Ящерицын (и др.) // Весці НАН Беларусі. Серія фізіко-технічных наук. – 2000. - № 2. – С. 62–65.

УДК 621.74

А.С. Раковец, ассист.; Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук.;
Н.А. Свидунович, д-р техн. наук, проф.
(БГТУ, г. Минск)

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СЕРОГО ЧУГУНА НАНОСТРУКТУРНЫМИ ПРИСАДКАМИ

Применяемые в настоящее время методы металлографического анализа ограничиваются обычно оценкой количества, формы и расположения включений графита, структуры металлической основы и фосфидной эвтектики. Обычные стандартные определения недостаточны для полной характеристики структуры, которая является главным фактором, определяющим свойства чугуна. Большое значение имеют также величина эвтектического зерна и характеристика первичного (предэвтектического) аустенита. В отношении этих характеристик имеется еще очень мало данных, и они часто противоречивы. Вторичная структура, которая обычно наблюдается под микроскопом, изучена более полно.

Первичная структура в процессе кристаллизации чугуна образуется в два этапа: выделение предэвтектического (первичного) аустенита и эвтектического превращения. Фазами первичной структуры является предэвтектический (первичный) аустенит и колонии эвтектики, состоящие в свою очередь из аустенита и графита.

Дендриты первичного аустенита выявлялись путем травления шлифов в смеси серной H_2SO_4 и борной H_2BO_3 кислот. Для выявления дендритов достаточно двух- или трехкратной переполитровки шлифа. После травления шлиф необходимо слегка отполировать для снятия образовавшихся на поверхности окислов, после чего его можно рассматривать под микроскопом.

Дендриты хорошо выявляются в случае, когда количество первичного аустенита по занимаемой площади была не менее 15%, и чем больше скорость охлаждения, тем структура становится более четкой. С увеличением степени эвтектичности, модифицирования графитизирующими модификаторами, количество первичного аустенита уменьшается, характер кристаллизации его меняется от экзогенного (длинных разветвленных дендритов) к эндогенному (более коротким, округлым дендритам). С уменьшением скорости охлаждения, уменьшается разветвленность дендритов первичного аустенита. Среднюю длину дендритов первичного аустенита возможно определить с помощью масштабной линейки при увеличении $\times 50$.

Необходимо отметить, что скорость охлаждения в эвтектическом интервале определяются микрон-макроструктура чугуна. При быстром охлаждении (большей степени переохлаждения) графитная эвтектика не образуется и в застывшем сплаве дендриты окружены ледебуритной эвтектикой, тонкость строения которой зависит от степени переохлаждения. В этом случае первичная структура достаточно ясно выявляется обычным травлением.

При малых скоростях охлаждения (малой степени переохлаждения) эвтектический графит выделяется полностью, и структура будет серого чугуна, в котором первичные дендриты не выявляются, так как они замаскированы графитными выделениями. Для выявления первичной структуры требуются специальные методы травления смесью борной и серной кислот с многократным полированием.

Для выявления эвтектического зерна использовали реактив следующего состава:

- CuSO_4 – 3 г;
- Пикриновая кислота – 3 г;
- Концентрированная HCl – 20 см³;
- Этиловый спирт – 100 см³.

Количество зерен подсчитывали на см² площади шлифа.

При эвтектической кристаллизации чугуна количество имеющихся при данном переохлаждении активных зародышей определяет количество эвтектических зерен.

Формирование эвтектического зерна – конечный процесс первичной кристаллизации. Контуры зерна обрисовываются застывшими в последний момент участками более легкоплавких примесей, отнесенных в процессе кристаллизации на границы между срастающимися зернами, растущими из определенных центров.

УДК 621.74:669.13

А.С. Раковец, ассист.; Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;
Н.А.Свидунович, проф., д-р техн. наук;
Л.З. Писаренко, ст. научн. сотр;
Д.Д. Гордиенко, маг. (БГТУ, г. Минск)

ОСОБЕННОСТИ МОДИФИЦИРОВАНИЯ СЕРОГО ЧУГУНА, РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ЧАСТЫХ ТЕРМОСМЕН

Проведены исследования составов модификаторов повышающих термоциклическую стойкость отливок фрикционно-тормозной группы. Целью исследования было изучения влияния различных составов модификаторов на структуру, глубину отбела, измельчение эвтектического зерна и термоциклическую стойкость полученных отливок.

В качестве модификаторов для получения отливок был использован ферросиликобарий и графит, с различным их процентным содержанием в комплексном модификаторе, ковшевая добавка вводилась в виде смеси графита и ферросиликобария в количестве 0,2-0,6% от массы жидкого металла. Введение ферросиликобария в составе модификатора способствует увеличению длины графитных включений, увеличению их количества, увеличению числа эвтектических зерен, получению отливок без отбела.

Для испытания на термоциклическую стойкость тормозные барабаны трактора испытывали путем нагрева поверхности токами высокой частоты до 600⁰С с последующим быстрым охлаждением в воде до комнатной температуры.

В лабораторных условиях было получено несколько партий литых заготовок тормозных барабанов. Установлено, что ковшевые добавки модификатора в количестве 0,3-0,4% от массы жидкого металла обеспечивают наибольшее число циклов «нагрев-охлаждение» до 18-26 циклов. При этом повышается предел прочности на разрыв со 190 МПа для не модифицированного до 220-240 МПа при добавках модификатора 0,3-0,4%. При добавках модификатора 0,5-0,6% идет уменьшение числа циклов теплосмен до 15-20, а также снижения прочности до 150-170 МПа, при этом исключается отбел чугуна. Падение прочности и термоциклической стойкости связано с огрублением структуры пластинчатых включений графита и появлением участков феррита. Оптимальным следует считать добавки 0,3-0,4% модификатора, которые обеспечивают максимальное число циклов «нагрев-охлаждение», максимальное число эвтектических зерен и достаточно высокие механические свойства (таблица 1).

Таблица 1 – Составы модификаторов и свойства полученных отливок

№ состава	Кол-во модификатора, %	Содержание компонентов, %		Кол-во циклов теплосмен до появления трещин	Предел прочности, МПа	Отбел, мм	Число эвтектических зерен, шт/см	Характеристика микроструктуры по ГОСТ 3443-81
		ферросиликобарий	графит					
1	без мод	-	-	2	190	15	230	Междендритный графит Пгр8, перлит П45
2	0,2	60	40	6-8	210	6	620	Длина графитных включений, 100-125 мкм, П76
3	0,3	50	50	18-20	220	3	980	Длина графитн. включ., 120-250 мкм, П85
4	0,4	40	60	24-26	200	0	1020	Длина графитн. включ., 120-250 мкм, П70
5	0,5	30	70	16-20	170	0	1080	Длина графитн. включ., 250-350 мкм, П70
6	0,6	20	80	15-18	150	0	1150	Длина графитн. включ., 350-380 мкм, П60

Неориентированные включения графита, получившиеся при модифицировании чугуна, играют роль термокомпенсаторов при циклических нагревах и охлаждениях, способствуя повышению их термодинамической стойкости.

Проведенные испытания тормозных барабанов на тепловой удар показали, что выход из строя опытных тормозных дисков и барабанов в условиях аварийного торможения менее вероятен. Использование модификатора из графита и ферросиликобария без изменения технологии получения отливок позволяет повысить качество и надежность деталей фрикционно-тормозной группы тракторов, автомобилей и других машин, имеющих в своей конструкции такие элементы.

УДК 621.793.182

С.Д. Латушкина, доц., канд. техн. наук; И.Н. Жоглик, научн. сотр.;
(ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск);
Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук; О.Ю. Цынкович, инж.;
А.С. Раковец, ассист.; А.С. Кравченко, инж., канд. техн. наук;
И.Е. Григорьев, маг. (БГТУ, г. Минск)

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
ОСАЖДЕНИЯ НА СТРУКТУРУ И ПОКАЗАТЕЛИ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫХ ПОКРЫТИЙ
НА ОСНОВЕ ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ**

Исследования высокоэнтропийных сплавов показали, что они благодаря образованию твёрдых растворов имеют высокую твёрдость и обладают другими высокими физико-механическими характеристиками. Высокая энтропия смешения элементов в сплаве рассматривается как мера вероятности сохранения их системы в данном состоянии. Это обеспечивает повышенную термическую стабильность фазового состава и структурного состояния, а, следовательно, и свойства сплава – механические, физические, химические. В тоже время высокие значения твердости и жаростойкости в литом состоянии служат гарантией получения существенно более высоких значений физико-механических характеристик в покрытиях из таких сплавов. Известны работы по созданию покрытий из высокоэнтропийных сплавов, а также экспериментальные исследования по формированию нитридов на основе высокоэнтропийных сплавов, но такие работы малочисленны вследствие многофакторности процессов вакуумно-плазменного осаждения покрытий.

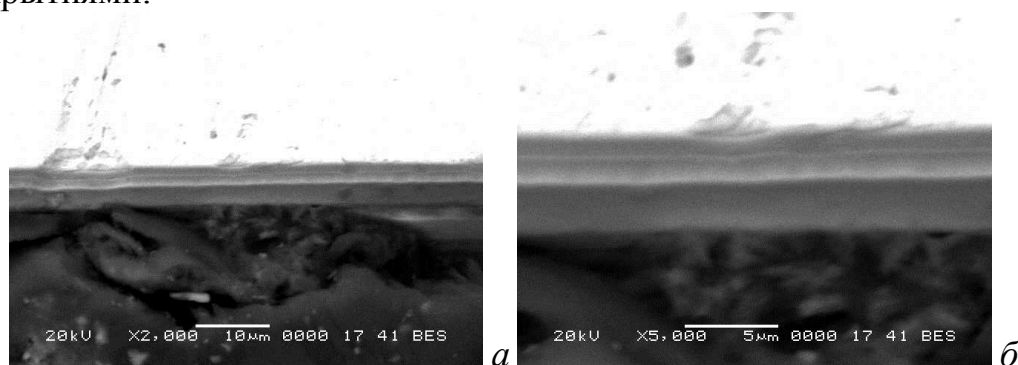
На основе анализа физико-механических свойств материалов и технологических возможностей метода вакуумно-плазменного осаждения выбран состав высокоэнтропийного соединения Ti-Al-Cr-Fe-Ni для формирования покрытия, способного обеспечить улучшенные эксплуатационные свойства деталей, работающих в условиях коррозионно-абразивного износа под действием высоких температур.

В работе для формирования покрытий применялась технология вакуумно-дугового осаждения при сепарации плазменного потока на установке с двухкатодным распылением. Для реализации возможности формирования наноструктурированных многокомпонентных покрытий из выбранного высокоэнтропийного сплава была разработана кон-

струкция составного катода. Материалами катодов являлись титан ВТ1-0 и алюминий А99, вставки изготавливались из стали 08Х18Н10Т.

Как показали эксперименты, применение плазмооптической сепарирующей системы существенным образом повлияло на массоперенос элементов в покрытие. Было установлено, что в покрытии значительно уменьшается содержание как железа, так и никеля по сравнению с их содержанием в катоде. Причем, аналогичного эффекта для хрома не наблюдается. Изменение тока дуги на катодах, в основном, оказывает влияние на содержание титана и алюминия в покрытии. В тоже время влияние потенциала смещения на основе на элементный состав покрытий имеет свои особенности. При изменении потенциала от -80 В до -90 В наибольшие изменения происходят с концентрацией таких элементов, как титан и алюминий. Соотношение между содержанием титана и алюминия уменьшается с 3,27 до 2,19 раз.

Исследованиями поперечных шлифов и изломов установлено, что структура покрытий отличается сплошностью (без микропор и микротрещин), однородностью и отсутствием столбчатой структуры (рисунок 2), характерной для мононитридных покрытий, осаждаемых данным методом. При этом наблюдается четкая граница раздела между покрытием и титановым подслоем. Анализ полученных результатов свидетельствует, что структурное состояние покрытий должно положительно сказаться как на уровне адгезионных и механических характеристик, так и на термической стойкости изделий с такими покрытиями.



a – x2000; *б* – x5000

Рисунок 1 – Структура покрытия (Ti-Al-Cr-Fe-Ni)N в СЭМ

Исследование микротвердости образцов из твердого сплава Т15К6 с покрытиями (Al, Ti, Fe, Cr, Ni)N показало, что покрытия обеспечивают высокую микротвердость (до 29 ГПа) твердосплавных образцов.

Результаты исследований могут найти применение для упрочнения изделий инструментального назначения, работающих в условиях высоких термомеханических нагрузок и агрессивных коррозионных сред.

УДК 620.178.3

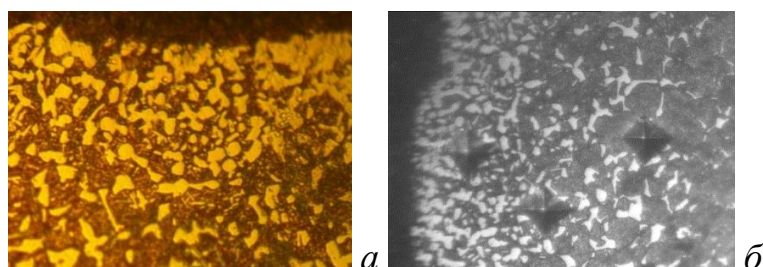
Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук. (БГТУ, г. Минск);
И.Н. Степанкин, доц., канд. техн. наук;
Е.П. Поздняков, ст. преп. (ГГТУ им. П.О. Сухого);
Н.А. Свидуневич, д-р техн. наук, проф.; А.С. Раковец, ассист.;
А.С. Кравченко, инж., канд. техн. наук;
Д.Д. Гордиенко, маг. (БГТУ, г. Минск)

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 16MnCrS5

В настоящее время, наряду с широко используемыми сталями 18ХГТ, 40Х, 30ХГСА и др., машиностроительному комплексу доступны такие сплавы как 16MnCrS5, 18ХГР, 20ХН3А, 40Х13 и VOHLERM303 Extra, и их аналоги. Многие из них широко используются в производстве деталей машин зарубежными, в первую очередь западными производителями. Их применение в некоторых случаях регламентируется требованиями заказчиков, ориентированных на экспорт технических устройств за пределы Республики Беларусь. Использование таких сплавов также связано с интеграцией отечественной металлургической промышленности в общеевропейский рынок с возможностью получения сплавов по западным стандартам DINEN 10083 и DINEN10084 для удовлетворения потребностей как внутренних, так и внешних заказчиков.

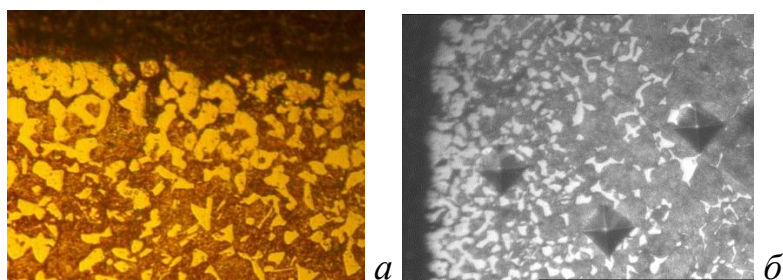
С целью определения влияния режимов термохимической обработки на структурообразование, фазовый состав и свойства поверхностных слоев стали 16MnCrS5, выпускаемой в соответствии с DIN EN 10084, были получены (цементация (920 °С, 8 и 12 часов) и нитроцементация (860 °С, 6 и 8 часов), закалка в масле с температуры 860 °С и отпуск) и подготовлены для исследований зависимостей «состав-структура-свойства» образцы этой стали. Определено, что морфология модифицированных поверхностных слоев изучаемых сплавов, вследствие развитой системы границ между кристаллитами (рисунок 1, 2), является структурой сложного фазового состава (карбиды, нитриды, карбо-нитриды, α - и γ -твердые растворы). Отличие в структурном состоянии модифицированных слоев, сформированных в результате цементации и нитроцементации после проведения термического упрочнения, определяется различием химического состава поверхности. Определено, что содержание углерода на поверхности в случае применения цементации, которая проводилась при более высоких темпе-

ратурах, большее, чем в случае проведения нитроцементации. Темперно-временные параметры нитроцементации способствовали диффузии преимущественно углерода в поверхность материала, что определило незначительное количество нитридных фаз в модифицированных слоях. Толщина модифицированных слоев составила до 1,5 мм после науглероживания и до 0,6 мм после нитроцементации с микротвердостью до $\sim 7,5$ ГПа в зависимости от обработки.



a – $\times 400$, *б* – $\times 400$ с отпечатками индентера

Рисунок 1 – Микроструктура в СМ модифицированного слоя стали 16MnCrS5 (цементация 12 часов) после закалки и отпуска



a – $\times 400$, *б* – $\times 400$ с отпечатками индентера

Рисунок 2 – Микроструктура в СМ модифицированного слоя стали 16MnCrS5 (нитроцементация 8 часов) после закалки и отпуска

Полученные при выполнении работы данные использованы для фундаментального объяснения влияния различных фаз испытуемых сплавов на эксплуатационные характеристики деталей машин, что расширяет представления о технологиях их упрочнения и свойствах новых марок низколегированных сталей, осваиваемых отечественной металлургической промышленностью, и будет способствовать их продвижению на рынки металлопродукции.

УДК 621.745.669.13

В.А. Шейнерт; А.Г. Слуцкий, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);
А.С. Калиниченко, проф., д-р техн. наук;
Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;
И.Е. Григорьев, маг. (БГТУ, г. Минск)

АНАЛИЗ И ВЫБОР СПЛАВОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БЫСТРООХЛАЖДЕННЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ С НЕРАВНОВЕСНОЙ СТРУКТУРОЙ

Ранее выполненные исследования [1-2] показали, что использование быстроохлажденных частиц с неравновесной структурой в качестве армирующего материала позволяет заметно повысить физико-механические свойства композитов различного назначения.

Быстроохлажденные материалы можно получать различной формы волокон (нитевидная, ленточная, лепестковая) в зависимости от конструктивных особенностей литейных установок. Это позволяет не только модифицировать структуру литых заготовок, приближая ее к строению композитов, но и использовать их для формирования композиционных материалов с матрицей на основе полимеров и керамики. Важным аспектом является выбор составов сплавов, способных к образованию метастабильных и неравновесных структур в процессе скоростной кристаллизации.

Из многих возможных вариантов выбраны наиболее распространенные промышленные сплавы на алюминиевой, медной и железной основе с широкими областями твердых растворов, выраженными эвтектиками типа металл-металл и металл-металлоид, которые при скоростном затвердевании из жидкой фазы за счет глубокого переохлаждения расплава обеспечат формирование неравновесных, метастабильных структур, вплоть до аморфного состояния.

С этой целью был проведен анализ диаграмм состояния сплавов на основе меди, алюминия и железа [3], на основании которого были отобраны двойные и тройные сплавы перспективные для получения метастабильных структур способами закалки из жидкого состояния и определены рекомендованные концентрационные интервалы по легирующему компоненту для различных систем: алюминий-бор (до 5%), алюминий-кремний (до 30%), алюминий-хром (до 30%), алюминий-медь (до 50%), алюминий-железо (до 30%), алюминий-магний (до 35%), алюминий-марганец (до 30%), алюминий-никель (до 95%), алюминий-олово (до 1%), алюминий-титан (до 10%), алюминий-цинк (до 100%), медь-алюминий (до 50%), медь-хром (до 10%), медь-железо (до 10%), медь-магний (до 35%), медь-марганец (до 30%), медь-никель (до 50%), медь-

фосфор (до 15%), медь-свинец (до 35%), медь-сурьма (до 32%), медь-кремний (до 30%), медь-олово (до 30%), медь-титан (до 60%), медь-ванадий (до 5%), медь-цинк (до 100%), медь-кальций (до 12%), железо-алюминий (до 25%), железо-алюминий-углерод (до 30% алюминия, до 3% углерода), железо-бор (до 8%), железо-бор-углерод (до 8% бора, до 4% углерода), железо-фосфор (до 10%), железо-фосфор-углерод (до 10% фосфора, до 4% углерода), железо-сурьма (до 50%), железо-сурьма-углерод (до 50% сурьмы, до 4% углерода), железо-кремний (до 20%), стали с метастабильным аустенитом («МАС») типа X12, Г13 и подобные (12% хрома, 13% марганца, 1-2% углерода), легированные чугуны хромистые, никелевые, марганцевые, ванадиевые (5-30% хрома, 5-35% никеля, 5-35% марганца, 5-12% ванадия).

Выбор композиций обуславливался наличием на диаграммах областей твёрдых растворов, выраженных эвтектик и высокотемпературных перитектических реакций с участием жидкой фазы. Например, анализ диаграммы состояния системы железо-кремний (Fe-Si) показывает, что широкие области твердых растворов, а также области твердых растворов с переменной концентрацией в зависимости от температуры, резкое изменение растворимости компонентов в твердом состоянии, стремящееся к нулю при комнатной температуре, глубоко выраженные эвтектики, высокие перитектики с широким интервалом гомогенности, позволяющие получить эффект дисперсионного твердения при пониженных температурах характерны для сплавов при концентрации кремния не превышающей 20%.

Таким образом, определены концентрационные интервалы двойных промышленных сплавов перспективных для реализации эффектов метастабильного состояния в волокнах, полученных способами высокоскоростной кристаллизации для разрабатываемых композиционных материалах на различных основах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Получение литой стабильной фибры для армирования бетонных конструкций в лабораторных условиях / В.А. Шейнерт [и др.] // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов.* – 2016. – № 37. – С. 132–136.

2. Технология получения быстроохлажденных гранул из сплавов на основе железа / А.С. Калиниченко [и др.] // *Металлургия: Республиканский межведомственный сборник научных трудов.* – 2016. – № 37. – С. 85–89.

3. Диаграммы состояния двойных металлических систем: Справочник: В 3 т.: / под общ. ред. Н.П. Лякишева. – М.: Машиностроение, 1996, – 992 с.

УДК (628.393.614.8)

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук.;
М.Ю. Курипченко, студ. 2 курса (БГТУ, г.Минск);
В.Е. Левкевич, проф., д-р. техн. наук (БНТУ, г.Минск)

СЦЕНАРИИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ АВАРИЙНЫХ СИТУАЦИЙ, ПРИВОДЯЩИХ К ХИМИЧЕСКОМУ ЗАГРЯЗНЕНИЮ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

При решении задач моделирования переноса загрязнителей в водных объектах важную роль играет типизация условий поступления веществ-загрязнителей, а также определение соответствующих расчетных схем (алгоритмов), по которым в последующем будет выполняться расчет переноса. Как показал анализ научных публикаций и литературных источников, наиболее распространенными загрязнителями водных объектов являются:

– нефтепродукты, взвешенные вещества, бытовые отходы, сточные воды, тяжелые металлы, различного рода соли и щелочные растворы в пределах городских и селитебных территорий;

– соединения азота, фосфора, калийно-натриевые соли в пределах водосборов.

Загрязнители, указанные во второй группе, являются наиболее распространенными, хотя по объемам выбросов первая группа является доминирующей.

В условиях граничного и трансграничного переносов загрязнителей важным является учет характера переноса разных веществ-загрязнителей в рамках чаши водоема. В русловых водохранилищах перенос осуществляется в рамках полей течения, приуроченных к старому руслу реки. В водохранилищах, имеющих расширенные плановые очертания, перенос загрязняющих веществ осуществляется более равномерно по всему сечению. Это связано с тем, что в переносе участвуют как стоковые течения, так и течения, возникающие в результате развития ветро-волновых и конвективных процессов. Характер регулирования и проточность водохранилищ определяет объем транзита и сброса загрязнителей в нижний бьеф.

В процессе исследований было проанализировано состояние водных акваторий семидесяти шести водохранилищ озерного и руслового типа по загрязнению их промышленными, сельскохозяйственными и другими загрязнителями. Наиболее распространёнными схемами поступления загрязнителей в водные объекты явились:

1. Централизованные (точечные) источники сброса;

2. Локальные источники сброса при поверхностном стоке с территории водосборов, на которых расположены: скотоводческие хозяйства, хранилища удобрений, навозохранилища, машинные дворы и т. д.

3. Комбинированные схемы поступления загрязняющих веществ (одновременное поступление загрязняющих веществ с поверхностным стоком с водосбора и из точечных источников).

Тип источника поступления загрязнителей определял характер распределения веществ по сечению водотока – водоема и его транспортировку. Таким образом, принимая во внимание имеющиеся данные об аварийных ситуациях, связанные с выбросом загрязнителей в водные объекты, произошедшие на территории Республики Беларусь [1], а также принятые выше схемы поступления загрязнителей, принимаем следующие сценарии возникновения аварийных ситуациях, приводящих к химическому загрязнению водных объектов:

1. Первый сценарий – это вариант точечного поступления веществ-загрязнителей в чашу водохранилища, который происходит в линейно ограниченном пространстве, например, по трубе или устью водотока (канала, ручья, реки и т. д.) с большой концентрацией и соответственно расходом и в короткие сроки;

2. Второй сценарий, то же самое только период сброса загрязнителей в водоем более продолжителен (несколько суток);

3. Третий сценарий – поступление веществ загрязнителей по линейно-растянутому источнику, например, разлив на территории, прилегающей к водоему вредных веществ с их дальнейшим перемещением с поверхностным стоком в сторону водоема по определенному фронту в течение длительного периода времени;

4. Четвертый сценарий, представляет собой комбинированную схему, которая включает присутствие точечного и линейного источников поступления веществ-загрязнителей в водохранилище.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разработка алгоритма переноса химических загрязнений в водотоках и водоемах при чрезвычайных ситуациях техногенного характера: отчет о НИР (заключ.) /КИИ МЧС Беларуси; рук. темы Г.И.Касперов. – Минск, 2010. –144 с. – ГР №20091268.

УДК (628.393.614.8)

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук.;
 М.Ю. Курипченко, студ. 2 курса (БГТУ, г. Минск);
 В.Е. Левкевич, д-р. техн. наук, проф. (БНТУ, г. Минск)

МЕТОДЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ ВОД В СИСТЕМЕ МОНИТОРИНГА ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

Степень загрязнения поверхностных вод оценивается путем сравнения концентрации загрязняющих веществ в водных объектах с предельно допустимыми концентрациями (ПДК). Для оценки степени загрязнения водных объектов по гидрохимическим показателям использовались ПДК, принятые для водоемов рыбохозяйственного назначения, которые предъявляют более жесткие требования к качеству поверхностных вод (таблица 1).

**Таблица 1 – ПДК по основным химическим загрязнителям
 поверхностных вод [1]**

Ингредиенты и показатели	Лимитирующий признак вредности	Предельно допустимая концентрация (ПДК)
Азот нитритный	Токсикологический	0,02
Нефть и нефтепродукты	Рыбохозяйственный	0,05
Фенолы		0,001
Железо общее	Органолептический	0,1
Медь (двухвалентная)	Токсикологический	0,001
Цинк	Токсикологический	0,01
Никель	Токсикологический	0,01
Кобальт		0,01
Марганец		0,01
Свинец	санитарно-токсикологический	0,1
Молибден		0,0012
Ртуть		Отсутствие
Аммиак	Токсикологический	0,05
Калий	санитарно-токсикологический	50,0
Магний		40,0
Натрий		120,0
Сульфаты		100,0

В системе мониторинга водных экосистем применяются методы оценки состояния поверхностных вод и донных отложений, основанные на использовании гидробионтов и их сообществ в качестве собственных биоиндикаторов качества водной среды (таблица 2):

1. Индекс сапробности по Пантле и Букку относится к группе методов, оценивающих состояние водных субъектов по соотношению

в исследуемых пробах показательных организмов, характерных для поверхностных вод различной степени загрязненности.

2. Индекс Гуднайта-Уитлея (олигохетный индекс) позволяет оценить состояние донных отложений по отношению численности малощетинковых червей (олигохет) к общей численности донных животных, массовое развитие которых обычно приурочено к загрязнению.

3. Биотический индекс (система Вудивусса) основан на показательных значениях и видовом разнообразии донных организмов. Определение биотического индекса ведется по рабочей шкале, в которой использована наиболее встречаемая последовательность исчезновения организмов по мере увеличения загрязнения.

Таблица 2 – Классификатор качества вод по гидробиологическим показателям

Класс качества воды	Степень загрязнения воды	По фитопланктону, зоопланктону, перифитону	По зообентосу	
		Индекс сапробности по Пантле и Букку	Индекс Гуднайта – Уитлея, %	Биотический индекс по Вудивуссу, баллы
I	Очень чистые	менее 1,00	1 – 20	10
II	Чистые	1,00 – 1,50	21 – 35	7 – 9
III	Умеренно загрязненные	1,51 – 2,50	36 – 50	5 – 6
IV	Загрязненные	2,51 – 3,50	51 – 65	4
V	Грязные	3,51 – 4,00	66 – 85	2 – 3
VI	Очень грязные	более 4,00	более 85	0 – 1

Согласно данным мониторинга, большинство рек Беларуси в соответствии с индексом загрязнения воды, в основу которого положены такие параметры как растворенный кислород, БПК₅, азот аммонийный и нитритный, нефтепродукты и цинк, относится к категории умеренно-загрязненных (ИЗВ изменяются от 0,8 до 2,5). Более высокие значения ИЗВ, как правило, характерны для участков рек ниже крупных промышленных центров.

ЛИТЕРАТУРА

1. Постановление Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь и Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 8 мая 2007 г. №43/42 «О некоторых вопросах нормирования качества воды рыбохозяйственных водных объектов».

УДК 674.023

С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);
Adel Abdel Basset Rashid
(Beirut Arab University, Lebanon, Tyre)

АНАЛИЗ КИНЕТИКИ ФИЗИКО–МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПРОВЕДЕНИИ УСТАЛОСТНЫХ ИСПЫТАНИЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ

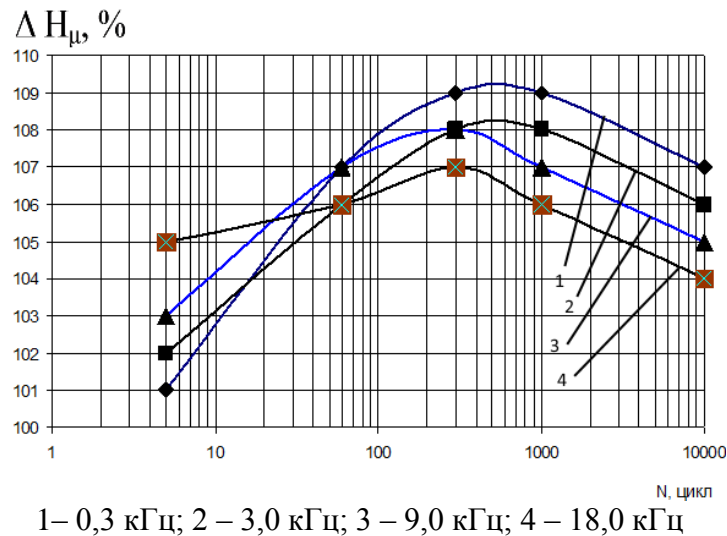
Эксплуатация технологической оснастки часто характеризуется значительными циклическими нагрузками. Такие условия требуют обеспечения высоких усталостных характеристик материалов для их изготовления. Однако, имеющиеся в литературе сведения по влиянию амплитудно–частотных параметров нагружения на усталостные характеристики и физико–механические свойства инструментальных сталей недостаточно систематизированы. В этой связи повышение точности и достоверности определения усталостных характеристик сталей, а также разработка методики проведения испытаний является актуальной задачей. Для решения данной задачи необходимо определить влияние частоты испытаний как на усталостные характеристики исследуемых сталей, так и на их структурно-чувствительные свойства.

Исследования влияния амплитудно-частотных и временных параметров нагружения на протекание процессов усталостного повреждения инструментальной стали 5ХНМ осуществлялись путем анализа изменений таких структурно–чувствительных свойств материалов как микротвердость и плотность дислокаций. Использование изгибных колебаний не только имитирует режим эксплуатационных нагрузок, но значительно повышает точность исследований ФМХ благодаря наличию циклических напряжений различной величины, закономерно расположенных вдоль оси образца.

Изучение влияния частоты на кинетику процессов упрочнения–разупрочнения металлов и сплавов осуществлялось путем определения изменений микротвердости исследуемых материалов в процессе циклического нагружения с различными амплитудами напряжений. Для этого предварительно определялась величина исходной микротвердости (H_u) перед испытанием, а затем проводились измерения H_u в зоне действия циклических напряжений выбранной величины по истечении времени вылеживания.

Из полученных результатов по влиянию амплитудно–частотных и временных параметров нагружения на кинетику физико–механических свойств стали видно, что наиболее интенсивно изменения структурно–чувствительных характеристик для выбранных уровней переменных напряжений происходят при циклическом нагружении до 10^7 циклов. Так, например, увеличение микротвердости штамповой стали 5 ХНМ прошедшей упрочнение боросилицированием (температура процесса $920\text{ }^{\circ}\text{C}$, время 2, 5 часа) менялась уже после 10^5 циклов нагружения (рисунок 1). Однако, при испытании стали прошедшей поверхностное упрочнение уровень возрастания микротвердости ниже, а разброс экспериментальных значений значительно больше чем при использовании однородных образцов, что связано с особенностями структуры поверхностных слоев, прошедших диффузионное насыщение.

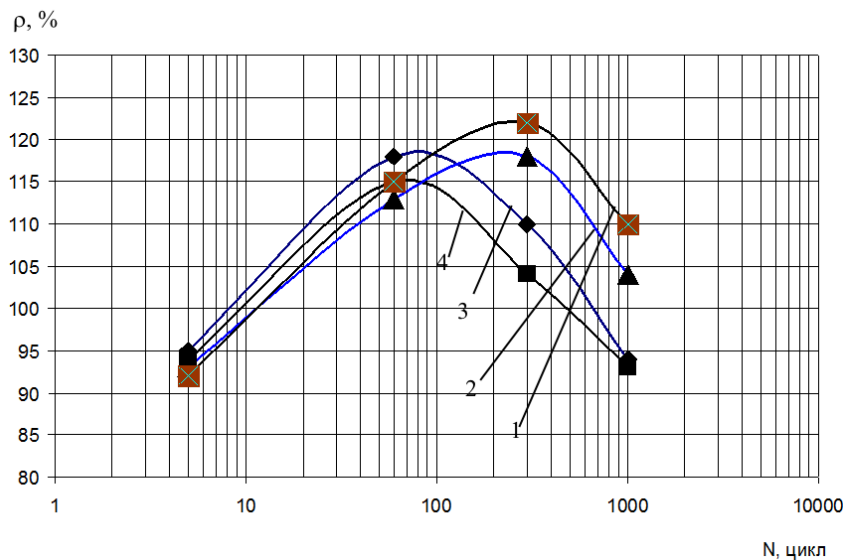
Для тонкой структуры исследованных материалов также характерно наиболее существенное изменение относительной плотности дислокаций в течение первых циклов нагружения. В дальнейшем, с наработкой циклов наступает насыщение, сменяющееся на стадии развития микротрещин постепенным переходом через экстремум (рисунок 2).



1 – 0,3 кГц; 2 – 3,0 кГц; 3 – 9,0 кГц; 4 – 18,0 кГц
Рисунок 1 – Влияние частоты знакопеременного изгиба на кинетику микротвердости стали 5ХНМ

Следует отметить, что в связи с более высокой чувствительностью величины плотности дислокаций к действию циклических напряжений, процесс упрочнения отмечается несколько ранее, чем при анализе микротвердости (на базе до 10^6 циклов), и в последующем после $2 \cdot 10^6$ циклов преобладают процессы разупрочнения.

Наблюдаемые эффекты кинетики ряда структурно-чувствительных свойств исследуемых материалов в зависимости от амплитудно-частотных и временных факторов воздействия определяются, в основном, характером распределения и взаимодействия дефектов кристаллической решетки. Плотность дислокаций на первой стадии испытаний возрастает на всех исследованных частотах, что свидетельствует о начале протекания процесса упрочнения материала. В начальной стадии нагружения имеет место лишь колебательное перемещение сегментов закрепленных дислокаций около положения равновесия. Последующее наложение знакопеременных напряжений с высокой частотой полупериода колебаний приводит к активации имеющихся в материале дислокаций, подъему их из энергетических ям, способствует преодолению ими потенциальных барьеров и передвижению через препятствия, вызывая тем самым пластическую деформацию.



1 – 0,3 кГц; 2 – 3,0 кГц; 3 – 9,0 кГц; 4 – 18 кГц

Рисунок 2 – Влияние частоты знакопеременного изгиба на кинетику плотности дислокаций стали 5ХНМ

По мере нарастания пластического деформирования материала развивается процесс разупрочнения, характеризующийся уменьшением плотности дислокаций, снижением уровня микронапряжений и микротвердости. Отсутствие существенных качественных различий в характере развития дислокационной структуры при высоких и низких частотах нагружения приводит к аналогии кинетики изменений рассматриваемых величин в исследованном диапазоне частот.

Очевидно, что с увеличением частоты происходит возрастание скорости деформации металлов при одном и том же числе циклов

нагружения. Тем самым, релаксационные процессы, играющие существенную роль при статическом нагружении, с ростом частоты нагружения замедляются. Пропорционально частоте нагружения увеличивается и количество циклов до начала протекания процесса разупрочнения. Увеличение частоты, приводящее к повышению скорости упругой деформации, способствует и росту скорости движения дислокаций; при этом повышается эффективность их размножения.

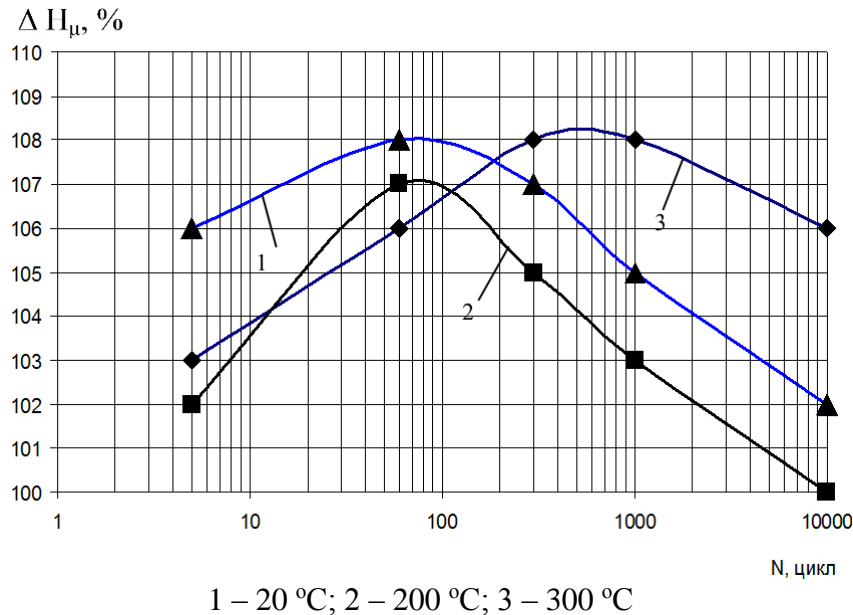


Рисунок 3 – Изменение микротвердости стали 5ХНМ при различных температурах испытаний (частота нагружения 18,0 кГц)

Следует отметить, что подобные зависимости характерны и для повышенных температур испытаний штамповой стали 5ХНМ (рисунок 3). Повышение температуры способствует более раннему протеканию процессов упрочнения–разупрочнения в связи с активацией взаимодействия дислокаций и точечных дефектов, а также передвижения дислокаций.

Приведенные исследования показали, что, несмотря на определенные количественные различия кинетики физико–механических характеристик рассматриваемых материалов, процесс усталостного разрушения у них развивается по одним и тем же закономерностям, характеризуясь сочетанием процессов упрочнения–разупрочнения. Это подтверждает единую физическую природу развития усталостной повреждаемости в рассмотренном диапазоне частот и, следовательно, принципиальную возможность реализации ускоренных усталостных испытаний с использованием высоких частот нагружения.

УДК 674.023

С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;
А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)
Adel Abdel Basset Rashid
(Beirut Arab University, Lebanon, Tyre)

ОСОБЕННОСТИ ТРАНСФОРМАЦИИ ДИСЛОКАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ В ПРОЦЕССЕ РАЗВИТИЯ ПОВРЕЖДАЕМОСТИ С НАПРЯЖЕНИЯМИ РАСТЯЖЕНИЯ

Экспериментальные результаты в сочетании с рассмотренными литературными источниками [1, 2] по влиянию частоты механических колебаний на усталостную долговечность и кинетику структурно-чувствительных характеристик металлов и сплавов позволяют констатировать, что основные признаки усталостного накопления повреждаемости независимо от рассмотренной вариации частоты и дополнительного статического нагружения сохраняются, так остается неизменной форма усталостной кривой; сопоставимы для разных частот и давлений значения ограниченных пределов выносливости; ориентация зарождающихся и распространяющихся усталостных трещин по отношению и направлению нормальных и касательных напряжений не изменяется [3]; остается практически одинаковым влияние средних напряжений при асимметричных циклах нагружения; частота оказывает качественно одинаковое влияние на микротвердость, кинетику дислокационной структуры, электросопротивление, микродеформацию, амплитудно-временные зависимости рассеяния энергии [4].

На основании этого можно сделать заключение о единой физической природе усталостной повреждаемости на качественном уровне, однако выявление причин количественного различия этого процесса на разных частотах требует проведения теоретических и экспериментальных исследований.

Для этого предпринята попытка теоретического анализа частотной зависимости эволюции элементов дислокационной структуры на первом этапе развития процесса усталостной повреждаемости. Рассмотрена динамика развития дефектов структуры дислокационным источником Франка-Рида в условиях циклического нагружения и дополнительной статической нагрузки, вызывающей напряжения растяжения. Выбор данного источника дислокаций обусловлен не только

изученностью этой модели [5], но и его вкладом в механизм размножения дислокаций.

При оценке движения источника Франка-Рида необходимо: проанализировать влияние частоты и асимметрии цикла знакопеременного циклического напряжения на движение дислокационного сегмента, особенно в процессе «срабатывания» источника при достижении критической дислокации от амплитудного значения знакопеременного напряжения в широком спектре частот.

Движение закрепленной дислокационной петли рассматривается нами в виде модифицированной модели Келера. Характер движения дислокации определяется как функция времени.

$$\xi = (y, t), \quad (1)$$

При дополнительном асимметричном нагружении возмущающая сила по модели Келера дополняется статическим напряжением. Для упрощения исходной схемы нагружения принято, что плоскость статического нагружения совпадает с плоскостью знакопеременного циклического напряжения.

Уравнение, моделирующее анализируемый процесс, представим в форме (2).

$$A \frac{\partial^2 \xi}{dt^2} + B \frac{\partial^2 \xi}{dt^2} + C \frac{\partial^2 \xi}{dt^2} = b\sigma \sin \omega t + b\sigma_1 \quad (2)$$

где A – эффективная масса на единицу длины, $A = \rho b^2 / \pi$; w – частота нагружения, Гц; ρ – плотность материалов, г/см²; b – вектор Бюргера, см; B – коэффициент, определяющий силу динамического вязкого трения (г/см); C – коэффициент, определяющий величину силы на единицу длины, обусловленную натяжением изогнутой дислокации; $b\sigma$ – знакопеременная сила (ее амплитуда), действующая на единицу длины за счет внешнего сдвигового напряжения; σ – амплитуда внешнего напряжения, дин/см²; G – упругий модуль сдвига среды, дин/см²; μ – коэффициент Пуассона; $b\sigma_1$ – статическая сила на единицу длины, обусловленная дополнительной статической нагрузкой, дин/см²; σ_1 – величина статического сдвигового напряжения, дин/см².

$$C = \frac{2Gb^2}{\pi(1-\mu)} \quad (3)$$

Цель теоретического анализа заключается в нахождении решения в виде $\xi = f(\rho, G, b, \sigma_1, \sigma, \omega, B)$, а затем при фиксированном ξ в определении σ как функции всех остальных параметров (σ_1, ω, G и

т.д.). Это позволит определить пороговое напряжение срабатывания источника Франка-Рида в присутствии знакопеременного нагружения образца и статической нагрузки, вызывающей напряжения растяжения.

Выполнив преобразования в соответствии с [6] получаем величину порогового напряжения начала развития усталостного разрушения, связанного с размножением дислокаций.

Учитывая найденное значение σ , а также выражение для T_0 , получаем выражение для порогового значения напряжения:

$$\sigma = \left[\langle \xi \rangle - \frac{\pi \sigma_1 l^2}{2Gb^3} (1 - \mu l^2) \right] \left[\frac{1 + \frac{\omega^2 B^2 l^4}{4G^2 b^4}}{\pi(1 - \mu)l^2} Gb \right] \left[1 + \frac{2\pi B l^2}{Gb^2} \right] \quad (4)$$

То есть для одинакового дислокационного среднего смещения на высоких частотах при равном статическом усилии необходимы значительно большие циклические напряжения, чем на низких частотах. В данном случае расчет имеет качественный характер без учета влияния типа кристаллической решетки и примесей.

Однако параболический характер зависимости распределения регистрируемых критических напряжений от частоты нагружения предопределяет и разные стартовые условия развития повреждаемости, а также энергетику развития и накопления иерархических дефектов структуры. Через механизм зарождения, развития, консолидации дислокаций происходит энергетическая подпитка развития микротрещин.

В этом процессе гидростатического давления на каждом уровне нагружения «определяет» свое семейство пороговых напряжений. Напряжение, превышающее «пороговое» сопряжено с образованием характерной ячеистой структуры, уменьшением размеров блоков и ростом микротвердости отожженных материалов уже на ранних стадиях нагружения.

В большей степени частотная зависимость выражена у сталей (например, таких как 10 и 40Х), то есть у материалов с решеткой ОЦК. При значительно меньших по модулю напряжениях накопление повреждаемости наблюдается у меди М1 и сплава Д16, обладающих графцентрированной решеткой. Характерно, что формирование частотно-независимых уровней пороговых напряжений, а также и структурно

чувствительных свойств материала существенно завершается, приблизительно на уровне $0,4\sigma_T = 0,6\sigma_T$ с последующим значительным рассеянием (и поглощением) энергии именно на уже сформированных дефектах структуры. Это явление регламентирует слабую частотнозависимую специфику дальнейших преобразований структуры материала до момента разрушения. Таким образом, формируется эквидистантность пределов выносливости уровням пороговых напряжений. Слабое отношение от эквидистантности частотных зависимостей пределов ограниченной выносливости и пороговых напряжений может позволить физически обоснованно сопоставить усталостные характеристики, отмечаемые на высоких и низких частотах, а, следовательно, открывает возможности для прогнозирования низкочастотной усталости по результатам высокочастотных испытаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Матохнюк Л.Е. Ускоренные усталостные испытания высокочастотным нагружением. Киев.: Наукова думка. – 1988. – 199 с.
2. Почтенный Е.К. Прогнозирование долговечности и диагностика усталости машин. Мн.: 1983. – 165 с.
3. Писаренко Г.С., Степаненко В.А., Маковецкая И.А. Разрушение сплавов ВТ 4-1 и Д16Т при циклическом нагружении в широком диапазоне частот. // Проблемы прочности. – 1976. – № 3. – С. 813.
4. Смирнов Б.И. Дислокационная структура и упрочнение металлов. – Л.: Наука. – 1981. – 236 с.
5. Чишко К.А., Нацик В.Д. // ФТТ. – 1975. – Т.17. – С. 34–38.
6. Соболев В.Р., Мазуренко А.В., Логвинович П.И., Бельский С.Е., Блохин А.В. О влиянии сил вязкости на движение дислокационного сегмента и распространение упругих колебаний в металлах. /Доклады национальной академии наук Беларуси. – 2007. – Т.51, № 3. – С. 121–124.

УДК 634.377

И.В. Ковальчук, студ. ф-та ХТиТ;
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук.;
Ф.Ф. Царук, кан. техн. наук, доц.; А.М. Лось, ассист. (БГТУ, г. Минск)

ИССЛЕДОВАНИЕ УРОВНЕЙ ВИБРОУСКОРЕНИЙ ЗУБЬЕВ ЗУБЧАТОЙ ПЕРЕДАЧИ ПЕРЕДНЕГО ВЕДУЩЕГО МОСТА ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА НА БАЗЕ МТЗ

Исследованиями установлено, что детали трансмиссии трелевочного трактора ТТР-401 при трелевке испытывают повышенные динамические нагрузки на конечные элементы трансмиссии, в частности на конические передачи переднего ведущего моста. Это вызывает необходимость дополнительного упрочнения серийно выпускаемых конических передач переднего ведущего моста трелевочных тракторов ТТР-401 способами, позволяющими получать более высокую микротвердость контактных поверхностей зубьев.

Проведенными практическими исследованиями доказана перспективность использования для упрочнения зубчатых колес трансмиссии трелевочных тракторов процесса боросилицирования с разработанным составом насыщения, при котором наряду с высокой микротвердостью и износостойкостью поверхности образуется упрочненный слой с низкой хрупкостью, препятствующий его выкрашиванию при их эксплуатации.

В связи с этим организованы сравнительные производственные испытания упрочненных цементацией и боросилицированием конических зубчатых колес переднего ведущего моста трелевочного трактора. Боросилицирование осуществлялось в разработанном составе насыщения (пат. № 11380 Респ. Беларусь) при температуре насыщения 950°C и времени насыщения 3–3,5 часа, что способствует образованию упрочненного слоя толщиной 200–250 мкм с поверхностной микротвердостью 11000–12000 МПа. Ограничение номенклатуры деталей трансмиссии, принятых для исследований объясняется, прежде всего, сложностью испытаний их в реальных условиях, связанной с большой продолжительностью процесса эксплуатации, необходимостью практически полной разборки и сборки сложных механизмов для исследования отдельных деталей и существенным непостоянством реальных условий испытаний во времени.

Производственные испытания упрочненных конических колес трелевочных тракторов ТТР-401 организованы в ОАО «Плещеницлес»

и ГЛХУ «Слуцкий лесхоз». Основным параметром измерений зубчатых колес являлось виброускорение, которое генерировалось коническими парами при эксплуатации трелевочного трактора. По изменению уровня виброускорений конических пар можно косвенно судить об износе зубчатых колес. При этом увеличение уровня виброускорений зубчатых колес приводит к повышению интенсивности их изнашивания.

Измерение виброускорений конических передач, упрочненных цементацией и боросилицированием, проводилось при наработке трелевочного трактора ТТР-401 в 50 моточасов, что соответствует новым парам и 2700 моточасов. Испытания трелевочного трактора проводились на первой, второй и третьей передачах КПП. В ходе испытаний датчик для измерения виброускорений монтировался к переднему ведущему мосту трелевочного трактора ТТР-401 в месте установки подшипников. Посредством шнура сигнал от датчика передавался к измерительному прибору, виброанализатору ВШВ-003-М2.

При измерении виброускорений конической передачи трелевочного трактора при наработке 2700 моточасов отмечается значительное повышение их уровней, особенно на второй и третьей передачах, для упрочненных боросилицированием пар на 2–3 дБ по сравнению с базовым, в то время как для цементированных зубчатых колес на 9,8–10 дБ. Это свидетельствует о повышенной интенсивности изнашивания цементированных конических зубчатых колес уже в период наработки трелевочного трактора ТТР-401 в 1700–1800 моточасов.

Осмотр зубьев конических колес показал наличие на контактной поверхности пластической деформации, задиров и заедания, что подтверждают полученные результаты измерений уровня виброускорений цементированных зубчатых колес, а также результаты исследований упрочненных образцов и стендовых испытаний.

На зубьях колес, упрочненных боросилицированием видимых изменений контактной поверхности не обнаружено, уровни виброускорений возрастают незначительно, что свидетельствует о возможности длительной эксплуатации конической зубчатой пары. Полученные результаты по состоянию контактных поверхностей зубчатых колес, упрочненных цементацией и боросилицированием подтверждаются опытно-промышленными проверками в ОАО «Плещеницлес».

УДК 621.391

А.А. Гарабажиу, канд. техн. наук, доц.,
 В.С. Исаченков, ст. преп. (БГТУ, г. Минск);
 Д.В. Клоков, канд. техн. наук, доц. (БНТУ, г. Минск);
 В.С. Трусов, студ. (БГТУ, г. Минск)

ОСНОВНЫЕ ПАРАМЕТРЫ РОТОРНО-ЦЕНТРОБЕЖНОГО СМЕСИТЕЛЯ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СТЕПЕНЬ ПЕРЕМЕШИВАНИЯ В НЕМ СУХИХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ

Согласно фундаментальным исследованиям Ю.И. Макарова [1] механизм перемешивания сухих сыпучих материалов состоит из следующих элементарных процессов:

- 1) перемещения группы соседних частиц из одного положения в другое (конвективного перемешивания);
- 2) перераспределения частиц через обновленную границу их раздела (диффузионного перемешивания);
- 3) скольжения плоскостей в массе материала (сдвигового перемешивания);
- 4) сосредоточения частиц, имеющих одинаковую массу в соответствующих местах смесителя под действием гравитационных или инерционных сил (сегрегации).

В настоящее время основным качественным показателем процесса перемешивания является коэффициент вариации или неоднородности смеси:

$$V_c = \frac{100}{c} \cdot \sqrt{\frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (c_i - c)^2},$$

где c – среднее арифметическое значение концентрации ключевого компонента в пробах, %; c_i – значение концентрации ключевого компонента в i -ой пробе; n – число проанализированных проб.

С учетом коэффициента вариации оценочная шкала качества перемешивания выглядит следующим образом:

- $V_c < 3\%$ – отличное перемешивание;
- $V_c = 3 \div 6\%$ – хорошее перемешивание;
- $V_c = 7 \div 15\%$ – удовлетворительное перемешивание;
- $V_c > 15\%$ – неудовлетворительное перемешивание.

На качество и длительность процесса перемешивания оказывают влияние многие факторы. Например:

- физико-механические свойства частиц, составляющих смесь (плотность, гранулометрический состав, влажность, форма частиц, адгезионные и аутогезионные свойства и др.);
- процентное соотношение компонентов, входящих в смесь;

- стабильность процессов подготовки компонентой;
- стадийность построения процесса смешения;
- общая концепция построения технологического процесса и т.д.

Для интенсификации процесса перемешивания можно также отметить ряд дополнительных факторов, имеющих практическое значение:

1) Для получения однородных смесей следует обращать особое внимание на размер частиц тех компонентов, которые входят в состав смесей в малых количествах. То есть, чем меньше содержание компонента, тем меньше должны быть размеры его частиц.

2) Компоненты смеси можно перемешивать и малыми порциями, но несколько быстрее.

3) Хорошего качества смеси можно достичь за несколько последовательных этапов перемешивания.

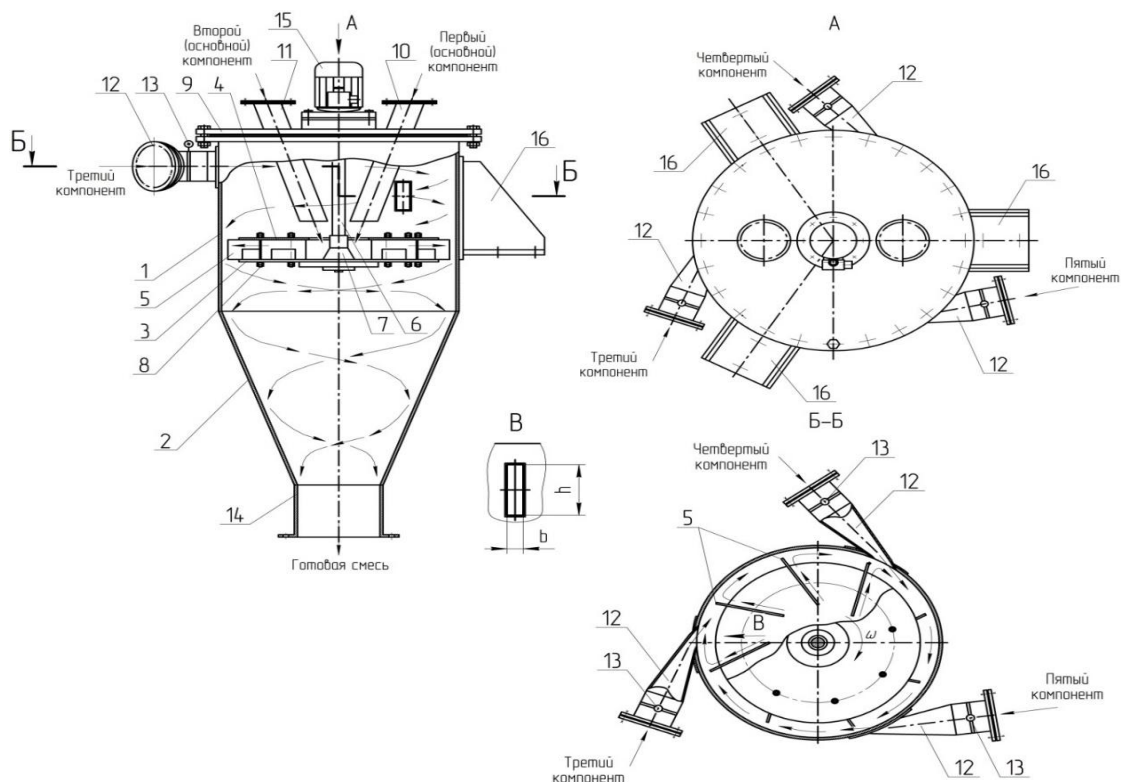
Кроме всего вышеперечисленного, на качество перемешивания существенное влияние оказывают конструктивные параметры конкретного смесительного аппарата.

В Белорусском государственном технологическом университете под руководством Гарабажиу А.А. была создана новая конструкция роторно-центробежного смесителя для перемешивания сухих сыпучих материалов, схема которого представлена на рисунке 1. Описание конструкции и принципа действия данного смесителя подробно изложены в работе [2].

Конструктивные параметры роторно-центробежного смесителя (рисунок 1) влияющие на качество перемешивания в нем сухих сыпучих материалов:

- 1) частота вращения горизонтального ротора;
- 2) количество, форма (прямая или изогнутая), угол установки (радиально или смещенно), размеры (высота, длина или степень кривизны) разгонных лопаток ротора;
- 3) наличие или отсутствие, а также размеры (высота и длина) дополнительных окон в разгонных лопатках ротора;
- 4) угол установки и диаметр выходного отверстия штуцеров загрузки основных компонентов смеси (первого и второго);
- 5) угол и высота установки, а также размеры (высота и ширина) выходного отверстия штуцеров загрузки дополнительных компонентов смеси (третьего, четвертого и пятого);
- 6) размеры (высота и угол наклона боковой поверхности) конической обечайки;
- 7) диаметр выходного отверстия штуцера выгрузки готовой смеси.

Все вышеперечисленные конструктивные параметры роторно-центробежного смесителя подлежат корректировке на последующих стадиях его исследования (теоретической и экспериментальной).



1 – цилиндрическая обечайка; 2 – коническая обечайка; 3 – нижний диск; 4 – верхний диск; 5 – лопатки; 6 – роторный вал; 7 – распределительный конус; 8 – механизм поворота лопаток; 9 – плоская крышка; 10, 11 – штуцера загрузки основных компонентов смеси (первого и второго); 12 – штуцера загрузки дополнительных компонентов смеси (третьего, четвертого и пятого); 13 – дозирующие заслонки; 14 – штуцер выгрузки готовой смеси; 15 – электродвигатель; 16 – опоры-лапы

Рисунок 1 – Роторно-центробежный смеситель для перемешивания сухих сыпучих материалов

ЛИТЕРАТУРА

1. Макаров Ю.И. Аппараты для смешения сыпучих материалов / Ю. И. Макаров. – М.: Машиностроение, 1973. – 215 с.
2. Гарабажиу А.А., Боровский Д.Н., Исаченков В.С., Клоков Д.В. Перспективная конструкция роторно-центробежного смесителя для перемешивания сухих сыпучих материалов / Химическая технология и техника: материалы 85-й науч.-техн. конф. профес.-препод. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 01-13 февраля 2021 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И. В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2021 – С. 64-67.

Научное издание

ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ДИЗАЙН

**Материалы докладов 86-ой научно-технической
конференции профессорско-преподавательского
состава, научных сотрудников и аспирантов
(с международным участием)**

Электронный ресурс

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*А.В. Домненкова, С.В. Киселев, А.В. Лешкевич,
Е.Ф. Чернявская, Е.О. Черник*

Усл. печ. л. 17,73. Уч.-изд. л. 18,30.

Издатель и полиграфическое исполнение:

УО «Белорусский государственный технологический университет».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/227 от 20.03.2014

Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.