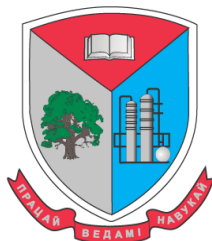


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ  
Учреждение образования  
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ»

Международное общество ученых технического образования



## **ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ДИЗАЙН**

**Материалы докладов 85-й научно-технической конференции  
с международным участием**

**1–13 февраля 2021 года**

Минск 2021



## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Хорошун Н.В., Насковец М.Т., Росссоха Е.В.</i> Итоги деятельности за 2020 год лесхозов и перспективы развития Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь.....	8
<i>Гордейчик А.А., Михальченко С.В.</i> Модельный ряд машин для лесного комплекса «МТЗ-ХОЛДИНГ».....	16
<i>Войтов И.В., Шетько С.В., Божелко И.К., Леонович О.К.</i> Инновационные и экологические аспекты стратегического развития деревообрабатывающей отрасли.....	19
<b>Подсекция «Технология и оборудование лесозаготовительной промышленности»</b>	
<i>Голякевич С.А., Мохов С.П., Гороновский А.Р., Пищов С.Н.</i> Оценка потенциала рекуперации энергии в процессе валки дерева харвестером.....	26
<i>Голякевич С. А., Столбин В. С.,</i> Анализ научных исследований в области оценки экологического воздействия лесопромышленных машин и технологий на лесные экосистемы.....	29
<i>Досалиев К.С., Асылбек А.Е., Токсан А.Б.</i> Исследование возможности применения утеплителя пенополистирола в нижнем слое дорожной одежды автомобильной дороги.....	32
<i>Насковец М.Т., Жарков Н.И., Смян А.И., Жлобич П.Н.</i> Испытание опытных участков подъездных путей, устроенных с применением отходов лесозаготовительного производства.....	36
<i>Насковец М.Т., Жарков Н.И., Жлобич П.Н., Борозна А.А.</i> Повышение работоспособности оснований грунтовых дорог, содержащих геопрослойки.....	38
<i>Лой В.Н., Германович А.О., Чернявский В.В.</i> Компоновочные схемы самоходных рубильных машин.....	40
<i>Шошин А.О.</i> Техничко-экономическое сравнение канатной установки МТК-431 и трелевочного трактора ТТР-401 для разработки заболоченного лесфонда.....	42
<i>Шошин А.О., Дорожко А.В., Ярмолик С.В., Барыляк В.В., Штоллманн В.,</i> Методика определения параметров мачты мобильной канатной трелевочной установки на базе трактора.....	44
<i>Мисуно Ю.И., Протас П.А.</i> Решение задачи определения воздействия движителя на почвогрунт с учетом реологических факторов.....	46
<i>Протас П.А., Ледницкий А.В., Мисуно Ю.И.</i> Направление и потенциал использования древесного сырья в энергетических целях в Республике Беларусь.....	48
<i>Протас П.А., Ледницкий А.В., Мисуно Ю.И.</i> Вклад развития лесотранспортной инфраструктуры в решение задачи 9.1 целей устойчивого развития.....	50
<i>Панкратович А.С., Петкевич А.Л.</i> Повышение эффективности подвозки сортиментов путем рациональных способов работы форвардера.....	53
<i>Лыщик П.А., Бавбель Е.И.</i> Трассирование лесных автомобильных дорог с учетом интенсивности роста леса на основе CREDO-технологий.....	55
<i>Лыщик П.А., Науменко А.И.</i> Улучшение свойств местных грунтов комплексным вяжущим.....	58

<i>Лыщик П.А., Кипра В.А., Бавбель Е.И.</i> Применение битумной эмульсии для укрепления грунтов земляного полотна автомобильных дорог.....	61
<i>Науменко А.И., Лыщик П.А.</i> Конструкции дорожных одежд из укрепленных материалов для большегрузных лесовозных автопоездов.....	64
<i>Лыщик П.А., Шаршунов А.В.</i> Способы осушения земляного полотна лесных автомобильных дорог.....	67
<i>Борозна А.А., Артемьев В.В., Якушева Т.В.</i> Показатели развития лесной инфраструктуры с позиции использования лесов.....	70
<i>Ким Ю.А., Насковец М.Т., Жарков Н.И., Гиль В.И.</i> Алгоритм расчета параметров взаимодействия гладкого колеса с двухслойным основанием.....	77
<i>Ким Ю.А., Насковец М.Т., Жарков Н.И., Гиль В.И.</i> Алгоритм расчета параметров взаимодействия гладкого, пневматического колеса с бесконечным линейно-деформируемым полупространством.....	81
<i>Арико С.Е., Исаченков В.С., Бобрович В.А., Гарабажиу А.А., Беляков А.А., Герцманович К.С.</i> Результаты экспериментальных исследований трелевочного трактора ТТР-401 в НУОЛХ (стендовый доклад).....	84
<i>Исаченков В.С., Леонов Е.А., Клоков Д.В., Свекла Д.А., Сийль А.А.</i> Специфика двухступенчатой трелевки древесины на предприятиях лесного комплекса.....	87
<i>Исаченков В.С., Войтеховский Б.В., Беляков А.А., Касюк Е.А. Карпович С.С.</i> Математическое моделирование колесного трелевочного трактора с навесным технологическим оборудованием различного компоновочного решения при работе в особых условиях как динамического объекта.....	90
<i>Исаченков В.С., Симанович В.А., Гиль В.И., Ращупкин С.В., Пархимович М.И.</i> Особенности моделирования процесса движения скиддера с прицепным технологическим оборудованием.....	93
<i>Лащенко А.П.</i> Решения задач математического программирования для технических специальностей в ВУЗе.....	95
<i>Лащенко А.П.</i> Визуализация алгоритма выбора оптимальной трассы автомобильной дороги.....	96
<i>Короленя Р.О.</i> Результаты статистической обработки данных, характеризующих время работы сортиментовозов на вывозке древесины.....	97
<i>Короленя Р.О.</i> Моделирование технико-эксплуатационных показателей работы лесовозных транспортных средств.....	100
<b>Подсекция «Технология и оборудование деревообрабатывающей промышленности»</b>	
<i>Трофимов С.П.</i> Подвижности слоя частиц измельченной древесины на наклонной опорной плоскости.....	102
<i>Трофимов С.П., Гайдук С.С.</i> Методики назначения точек замера параметров потока воздуха в трубопроводе.....	105
<i>Гайдук С.С., Ручкина Е.В.</i> Методики оценки прочности клеевых соединений массивной древесины.....	109
<i>Ручкина Е.В.</i> Анализ конструкции облегченного щита (тамбурата) при действии контактных нагрузок.....	111

<i>Прокуда В.В., Чуйков А.С.</i> Формирование лакокрасочных покрытий мебельных деталей с улучшенными защитно-декоративными свойствами.....	113
<i>Чуйков А.С., Игнатович Л.В., Тулейко В.В.</i> Использование аддитивных технологий для производства декоративных элементов мебели.....	116
<i>Божелко И.К., Коновалова А.А.</i> Полигонный способ оценки эффективности транспортных антисептиков для древесины.....	118
<i>Рудак О.Г., Бабич Д.П.</i> Расход тепловой энергии при прогреве пиломатериалов в ненасыщенной среде.....	120
<i>Рудак О.Г., Бабич Д.П.</i> Особенности процессов теплопереноса при прогреве древесины в ненасыщенной среде.....	123
<i>Бабич Д.П., Веретиков И.И.</i> Использование инверторов для экономии электрической энергии при сушке пиломатериалов в конвективных сушильных камерах.....	126
<i>Федосенко И.Г., Дубоделова Е.В.</i> Эксплуатационные характеристики топливных гранул из коры деревьев хвойных пород.....	128
<i>Федосенко И.Г., Федорук М.И.</i> Перспективные направления использования древесной коры.....	131
<i>Тулейко В.В., Игнатович Л.В.</i> Особенности внешнеэкономической деятельности деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь.....	133
<i>Игнатович Л.В.</i> Оценка качества древесного материала при химическом модифицировании, на основе обобщенного критерия.....	135
<i>Трофимов С.П.</i> Окно – история появления, изменений в условиях урбанизации.....	137
<i>Полховский А.В., Наркевич А.Н., Шетько С.В., Прохорчик С.А., Билинский Д.А.</i> Модель расчета на жесткость и прочность спортивно-беговой пластиковой лыжи.....	141
<i>Дупанов С.А., Леонович О.К.</i> Исследование физико-химических и прочностных свойств мореного дуба различных возрастных групп для изготовления изделий.....	144
<i>Мазало Н.А., Леонович О.К.</i> Исследование огне- и огнебиозащитных свойств древесины пропитанной составами на основе фосфорноорганических соединений.....	148
<i>Толстик Ю.В., Божелко И.К.</i> Проблематика производства и использования теплоизоляционных древесноволокнистых строительных материалов.....	150
<i>Утгоф С.С., Чуйков А.С.</i> Технология виртуальной реальности для пространственного представления и обеспечения конкурентоспособности продукции деревообрабатывающих предприятий.....	151
<i>Гришкевич А.А., Гриневич С.А.</i> Расчет скорости обратного выброса заготовки.....	153
<i>Гришкевич А.А., Алиферовец Г.В.</i> Биологическое строение зуба бобра – как возможная основа конструкции самозатачивающегося лезвия дереворежущего инструмента.....	155
<i>Гриневич С.А., Гришкевич А.А.</i> Сборная конструкция пилы дисковой для обработки древесных материалов.....	158

<i>Аникеенко А.Ф., Машорипова Т.А.</i> Исследование влияния параметров упругих элементов новой конструкции сверлильного инструмента на технологические режимы сверления Л-ДСтП.....	160
<i>Аникеенко А.Ф., Машорипова Т.А.</i> Теоретическое исследование зависимости углов резания от угла наклона винтовой канавки у сверл с конической заточкой.....	162
<b>Подсекция «Общетехническая»</b>	
<i>Касперов Г.И., Левкевич В.Е.; Новиков М.Э.</i> Факторы, влияющие на устойчивость откосов (бортов) промышленных карьеров.....	164
<i>Касперов Г.И., Левкевич В.Е.; Зязюля У.В.</i> Анализ, особенности и применимость методов оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций для водоемов карьерного типа.....	167
<i>Касперов Г.И., Левкевич В.Е., Новиков М.Э.</i> Инженерные методы расчета устойчивости откосов (бортов) промышленных карьеров.....	170
<i>Касперов Г.И., Левкевич В.Е., Зязюля У.В.</i> Методические основы оценки риска подтопления территорий при авариях на водных карьерах.....	174
<i>Гаранин В.Н.</i> Технология повышения износостойкости инструмента методом самоадаптивного резания древесины.....	177
<i>Раповец В.В., Клепацкий И.К.</i> Модель прогнозирования потери режущей способности ножами фрезерно-брусующих машин.....	180
<i>Раповец В.В., Розин Б.М.</i> Метод робастной многокритериальной оптимизации технологических режимов деревообработки.....	182
<i>Гришкевич А.А., Болочко Д.Л.</i> Стабилизация переходной поверхности лезвия дереворежущего инструмента, определяющая его период стойкости.....	184
<i>Гришкевич А.А., Машорипова Т.А.</i> Теоретические исследования влияния угла наклона режущей кромки к оси винтового сверла на угол резания.....	186
<i>Куис Д.В., Свидуневич Н.А., Окатова Г.П., Раковец А.С., Рудько Ю.Г., Гордиенко Д.Д.</i> Технология синтеза в условиях высоких давлений и температур многокомпонентных композиционных материалов на основе нанокремнезема, бора, порошков на основе железа.....	188
<i>Латушкина С.Д., Куис Д.В., Раковец А.С., Кравченко А.С., Гордиенко Д.Д.</i> Многокомпонентные защитные вакуумно-плазменные покрытия на основе высокоэнтропийных сплавов для теплонагруженных деталей и инструментов, работающих в условиях коррозионно-механического изнашивания.....	190
<i>Куис Д.В., Степанкин И.Н., Поздняков Е.П., Свидуневич Н.А., Раковец А.С., Кравченко А.С., Исаков В.А.</i> Влияние режимов термохимической обработки на структуру и показатели свойств модифицированных слоев стали 40Х и ее аналога стали 42CrMoS4.....	193
<i>Сурус А.И., Пищов М.Н., Лось А.М., Скворцов А.Д.</i> Анализ методов упрочнения тяжело нагруженных деталей трансмиссий лесных мобильных машин и технологической оснастки.....	195
<i>Пищов М.Н., Бельский С.Е., Сурус А.И., Царук Ф.Ф., Скворцов А.Д.</i> Исследование кинетики изнашивания борсодержающих слоев упрочненных деталей трансмиссий лесных машин.....	197

<i>Царук Ф.Ф., Бельский С.Е., Пищов М.Н., Adel Abdel Basset Rashid</i> Изменение усталостных характеристик вторичных литейных алюминиевых сплавов при поверхностном упрочнении.....	199
<i>Царук Ф.Ф., Бельский С.Е., Сурус А.И., Пищов М.Н., Скворцов А.Д.</i> Изменение характеристик усталостного разрушения графитизированных сталей.....	200
<i>Сурус А.И., Пищев М.Н., Лось А.М., Скворцов А.Д.</i> Исследование напряженного состояния поверхностного слоя образцов при испытании на износ инструментальной стали.....	201
<i>Блохин А.В., Лось А.М., Ярмолик С.В.</i> Использование САД-систем для анализа металлоемкости при проектировании элементов конструкций лесовозного транспорта.....	203
<i>Лось А.М., Блохин А.В., Пищов М.Н., Сурус А.И.</i> Применение систем КЭ анализа для проектирования напряженных заклепочных соединений, нагруженных поперечной силой.....	205
<i>Нестерчук А.В., Евлоев З.М., Кейбалова Е.А., Козлова М.С.</i> Экологиче- ское строительство с учетом энергоэффективности.....	208
<i>Нестерчук А.В., Евлоев З.М., Титова М.А., Козлова М.С.</i> Энергоэффективность как важный элемент обслуживания объектов недвижимости.....	211

УДК: 631

Н.В. Хорошун, нач. отдела промышл. производ., м.э.н., м.т.н.  
 (Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь);  
 М.Т. Насковец, проф., канд. техн. наук;  
 Е.В. Росссоха, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## ИТОГИ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЗА 2020 ГОД ЛЕСХОЗОВ ОТРАСЛИ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ПРОМЫШЛЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МИНИСТЕРСТВА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Основными направлениями деятельности лесного хозяйства в 2020 году являлись выполнение:

- Директивы Президента Республики Беларусь от 14 июня 2007 г. № 3 «Экономия и бережливость – главные факторы экономической безопасности государства»;
- Государственной программы «Белорусский лес» на 2016–2020 годы, утвержденной постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 18 марта 2016 № 215;
- Отдельных поручений Президента Республики Беларусь и Премьер-министра Республики Беларусь.

Из всех видов рубок заготовлено 21552,4 тыс. куб. м ликвидной древесины при запланированном объеме 19085,9 тыс. куб. м, что составило 113%. Наибольшее превышение фактических объемов заготовки древесины над плановыми значениями достигнуто Брестским (118%) и Гомельским (123%) ГПЛХО.

**Таблица – Выполнение плановых объемов заготовки древесины  
по всем видам рубок в 2020 году, тыс. куб. м**

ГПЛХО	План	Фактически заготовлено	Выполнение, %
Брестское	2424,7	2860,4	118%
Витебское	2800,0	2929,0	105%
Гомельское	4309,0	5318,3	123%
Гродненское	2387,6	2570,5	108%
Минское	3929,6	4394,4	112%
Могилевское	3235,0	3479,7	108%
<b>Итого:</b>	19085,9	21552,4	113%

Из общего объема заготовленной древесины 6,9 млн. куб. м заготовлено сторонними организациями путем оказания услуг, что составляет 105% к прошлому году.



В рамках реализации подпрограммы 2 «Строительство лесохозяйственных дорог» Государственной программы «Белорусский лес» было предусмотрено в 2020 году в лесном фонде Минлесхоза введено в эксплуатацию 19 лесохозяйственных дорог общей протяженностью 104,9 км. На их строительство затрачено 20,9 млн. рублей. Средства республиканского бюджета не привлекались.

По состоянию на 01.01.2021 насчитывалось 320 харвестера, 370 форвардера, 894 сортиментовоза, 1370 машин погрузочно-транспортных, 60 рубильных мобильных машин и др. техника.

В рамках реализации Программы обновления и развития 9Ашинно-тракторного парка организациями Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь на 2019–2020 гг. за 2020 год приобретено 56 харвестеров и 27 форвардеров, 108 машин погрузочно-транспортных, 124 сортиментовоза, 7 рубильных машин и другая лесозаготовительная техника и оборудование на сумму порядка 130 млн. руб.

По итогам работы достигнут уровень заготовки древесины механизированным способом от общего объема заготовки древесины в 50%. Общий объем заготовки древесины харвестерами с учетом услуг в организациях Минлесхоза составил 10442,0 тыс. куб. м (108,6% к уровню 2019 года).

Собственными силами лесхозов отрасли механизированным способом было заготовлено 7020,8 тыс. куб. м. древесины, прирост к уровню 2019 года составил 505,6 тыс. куб. м. Эффективность использования имеющихся мощностей за 2020 год составила 116%. По ГПЛХО эффективность использования мощностей харвестеров следующая: Брестское – 109%; Витебское – 101%; Гомельское – 121%; Гродненское – 144%; Минское – 116% и Могилевское – 113%.

Задания облисполкомов по заготовке древесного топлива за 2020 год выполнены всеми ГПЛХО в полном объеме. При плане 6573,7 тыс. куб. м заготовлено 8816,7 тыс. куб. м (134,1%), в том числе произведено щепы топливной 3105,7 тыс. куб. м. Реализовано 9664,9 тыс. куб. м древесного топлива, в том числе щепы топливной 3181,4 тыс. куб. м.

Задания, установленные Правительством по заготовке древесного топлива, по подготовке к отопительному периоду 2020/2021 года, выполнены в полном объеме. Запасы древесного топлива на складах в организациях Минлесхоза для организаций жилищно-коммунального хозяйства составили 813,0 тыс. куб. м (104,1 % от плана). По состоянию на 01.01.2021 мощности по производству щепы топливной увеличены до 2300 тыс. куб. м в год.

Невостребованные остатки древесного топлива в отчетном году составили 1291,7 тыс. куб. м (на 761 тыс. куб. м меньше в сравнение с объемами аналогичных остатков на конец 2019 года), в том числе дров 1156,4 тыс. куб. м, щепы 84,1 тыс. куб. м.

Установленные и введенные в действие в 2020 году мощности по производству пеллет и брикета загружены на 100%, по изготовлению дров колотых на 38,4 %.

***Выполнено в 2020 году:***

- обеспечена эффективная загрузка лесохозяйственных машин и оборудования;
- продолжена плановая работа по техническому перевооружению в соответствии с Программой обновления и развития машинно-тракторного парка организациями Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь на 2019–2020 гг.;
- обеспечено строительство 19 лесохозяйственных дорог общей протяженностью 104,931 км;
- обеспечен дальнейший рост рынка услуг;
- все потребители в республике обеспечены древесным сырьем;
- выполнено установленное Правительством задания по заготовке древесного топлива, подготовке к отопительному периоду 2020/2021 года при задании 781 тыс. куб. метров создано запасов в объеме 813 тыс. куб. метров;
- обеспечена эффективная загрузку мощностей по выпуску древесного топлива;
- обеспечено выполнение государственного заказа по сдаче лома и отходов черных, цветных и драгоценных металлов.

***Задачи на 2021 год:***

- выполнение плановых заданий социально – экономического развития отрасли;
- развитие рынка услуг, планируется заготовить не мене 7,0 млн. куб. метров;
- техническое перевооружение отрасли в соответствии с отраслевой Программой обновления и развития машинно-тракторного парка организациями лесного хозяйства Республики Беларусь и Программой развития деревообрабатывающих производств;
- загрузка производственных мощностей, цехов и мастерских участков на уровне не менее 85%;
- строительство 20 лесохозяйственных дорог общей протяженностью не менее 100 км;

- ввод в эксплуатацию 5 пелетных производств в 2021 г;
- выполнение заданий облисполкомов по заготовке древесного топлива;
- выполнение государственного заказа по сдаче лома и отходов черных, цветных металлов в соответствии с Постановлением Правительства Республики Беларусь от 30 12 2020 № 789 в объеме 2,2 тыс. тонн черных металлов и 36 тонн цветных металлов.

### Отпуск древесины на корню

В 2020 году освоение расчетной лесосеки составило 11891,4 тыс. куб. м (88,4% от размера расчетной лесосеки и 118,4% к 2019 году).

*Справочно: за 2019 год было заготовлено 10046,4 тыс. куб. м.*

Из общего объема отпуск расчетной лесосеки по хвойной группе пород с учетом разрешенного дополнительного отпуска составил 7000,8 тыс. куб. метров (103% от годовой расчетной лесосеки по хвойному хозяйству и 115,9% к 2019 году), твердолиственной группе – 136,5 тыс. куб. метров (83,7% и 100,5% соответственно) и мягколиственной – 4508,9 тыс. куб. метров (69,4% и 116,5% соответственно).

**Таблица – Информация об освоении расчетной лесосеки в 2020 году**

	Расчетная лесосека, тыс.куб.м	Факт 2019 г., тыс.куб.м	Факт за 2020 г., тыс.куб.м	В процентах к	
				расчетной лесосеке	2018 году
<b>Всего по Мин-лесхозу</b>	<b>13446,9</b>	<b>10046,4</b>	<b>11891,4</b>	<b>88,4</b>	<b>118,4</b>
в том числе по ГПЛХО:					
Брестское	1476,1	910,7	1416,6	96,0	155,6
Витебское	3165,2	2346,3	2520,4	79,6	107,4
Гомельское	3150,3	2011,3	2793,1	88,7	138,9
Гродненское	1315,5	1194,2	1239,8	94,2	103,8
Минское	2350,0	1977,9	2198,2	93,5	111,1
Могилевское	1989,8	1606,0	1723,3	86,6	107,3

В 2020 году решениями областных исполнительных комитетов деревообрабатывающим организациям концерна «Беллесбумпром», а также ГПУ «Национальный парк «Припятский» был предоставлен в аренду лесосечный фонд в объеме 2660,3 тыс. куб. м древесины.

Из выделенных объемов древесины освоение составило 2554,3 тыс. куб. м древесины, или 96,0%. По областям освоение лесосечного фонда арендаторами составило: Брестская – 100%, Витебская – 99,7%, Гомельская – 95,7%, Гродненская – 100%, Минская – 84,5%,

Могилевская – 98,5%. Наиболее низкий процент освоения в Минской области.

*Справочно: за 2019 год из выделенных объемов древесины освоение составило 2472,5 тыс. куб. м, или 96,8%.*

**В 2021 году необходимо:**

- в целях рационального использования лесных ресурсов обеспечить выставление на текущие биржевые торги ОАО «Белорусская универсальная товарная биржа» лотов древесины на корню из мягколиственной группы древесных пород на 2021 год на труднодоступных участках из объема выделенной лесхозам для заготовки древесины.

- принять дополнительные меры по освоению расчетной лесосеки по мягколиственной группе древесных пород.

**Переработка древесных ресурсов**

В настоящее время в системе Минлесхоза осуществляет деревообрабатывающую деятельность 96 производств.

В рамках выполнения отраслевой Программы промышленного развития деревообрабатывающих производств Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь на 2015–2020 годы, утвержденной постановлением коллегии Министерства лесного хозяйства от 24 декабря 2014 г., на техническое переоснащение деревообрабатывающих производств в 2020 году направлено денежных средств в более 120 млн. рублей, что в 2,2 раза больше, чем в 2019 году. Реализовано 39 проектов, в том числе по направлениям: создано 7 производств по выпуску древесного топлива (пеллет), установлены 7 линий лесопиления взамен неэффективных старых, в 19 лесхозах созданы новые либо увеличены мощности существующих сушильных комплексов, установлена одна линия сортировки круглых лесоматериалов, созданы 5 производств по выпуску оцилиндрованных изделий.

По итогам работы деревообрабатывающими цехами переработано 6061,6 тыс. куб. м древесины, или 111% к уровню прошлого года, в том числе крупной 930,3 тыс. куб. м (119,9 %), средней 2479,7 тыс. куб. м (119,4%), мелкой – 209,8 (94,6%), дров – 2441,8 тыс. куб. м. (102,4%).

Выпущено пиломатериалов 1474,2 тыс. куб. м (рост 111,5% к прошлому году), в том числе пиломатериалов обрезных выпущено 930,6 тыс. куб. м (100,9%), необрезных – 154,3 тыс. куб. м (84,6%) и 389,3 тыс. куб.м заготовок (178,5%). Объем высушенной продукции увеличился на 17,1 тыс. куб. м и составил 157,2 тыс. куб. м, или 112,2% к уровню 2019 года.

Объем выпуска товарной продукции увеличился по сравнению с 2019 годом на 134,1% (с 311,6 до 418,0 млн. руб.), наибольший рост в Гомельском (144%), Гродненском (139%) и Минском (141%) ГПЛХО.

Среднесписочная численность в цехах деревообработки составила 4566 человек, что на 273 человека больше чем в 2019 году.

***В 2021 году необходимо:***

продолжить работы по созданию производств по выпуску пеллет в Ганцевичском, Кобринском, Сморгонском, Гомельском, Стародорожском и Осиповичском опытных лесхозах, кроме того завершить модернизацию пеллетного производства и выполнить работы в установленные сроки в Столбцовском лесхозе;

завершить строительство 2 цехов лесопиления с установкой новых линий лесопиления (Быховский и Чаусский лесхозы);

установка 4 новых линий лесопиления, в том числе взамен самортизированного лесопильного оборудования;

обеспечить наращивание мощностей сушильных комплексов путем создания новых и модернизации действующих – не менее 10 проектов;

увеличить использование невостребованного низкокачественного древесного сырья;

организовать эффективную загрузку производственных мощностей основного технологического оборудования цехов и мастерских участков;

обеспечить контроль качества выпускаемой продукции.

**Инвестиции**

Инвестиции в основной капитал по итогам работы за 2020 год составили 313,4 млн. руб. Наибольший удельный вес в общем объеме инвестиций в основной капитал составили инвестиции в техническое перевооружение лесозаготовительного производства – 104,4 млн. руб., или 33,3%, инвестиции в развитие деревообрабатывающих производств – 74,9 млн. руб., или 23,9%, инвестиции в создание инфраструктуры по заготовке и доставке древесного топлива – 53,3 млн. руб., или 17,0%, инвестиции в лесохозяйственное производство – 42,2 млн. руб., или 13,5%, инвестиции в строительство лесохозяйственных дорог – 19,2 млн. руб., или 6,1%.

Доля затрат на приобретение машин и оборудование, транспортных средств в общем объеме инвестиций в основной капитал составила 75,6%.

### **Энергосбережение**

За 2020 год показатель по энергосбережению выполнен на уровне минус 5,3% при плане минус 3,0%.

Доля использования древесного топлива по Минлесхозу в котельно-печном топливе при плане 98,0% составила 99,2%.

Показатель по снижению потребления светлых нефтепродуктов за 2020 год выполнен на уровне 5,0% при плане 5,0%.

В целях повышения экономической эффективности использования технического парка, рационального использования ГСМ в лесхозах отрасли системами контроля топлива оборудованы харвестеры, сортиментовозы и форвардеры, а также другая лесозаготовительная техника.

#### ***В 2021 году необходимо:***

обеспечить выполнение показателя по энергосбережению на уровне минус 3,0%;

обеспечить выполнение доли использования местных видов топлива в котельно-печном топливе на уровне 99%;

обеспечить выполнение показателя по снижению потребления светлых нефтепродуктов на уровне не менее 5%.

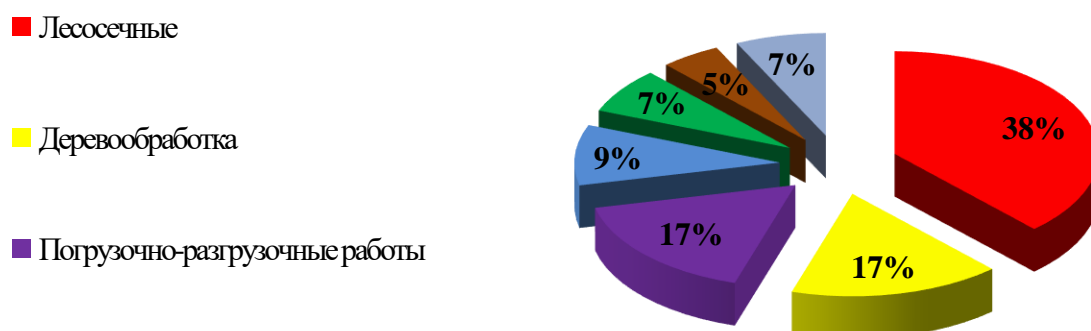
### **Охрана труда**

За прошедший год в отрасли проделана значительная работа по вопросам охраны труда. Проводились ежемесячные мониторинги по охране труда в самих лесхозах, со стороны ГПЛХО, службы охраны труда Минлесхоза и Белорусского профессионального союза работников леса и природопользования; ежеквартальные Недели охраны труда с участием профсоюзных работников; обучающие семинары на уровне областей, республики; проверки знаний в комиссиях лесхозов, ГПЛХО, отрасли; заседания комиссий на областном и отраслевом уровне и др.

Несмотря на принятые организационные и технические меры за 2020 год произошло 42 несчастных случаев, в которых пострадало 42 чел. За 2019 год произошло 49 несчастных случаев.

**Таблица – Несчастные случаи на производстве в 2019 – 2020 годах**

Виды несчастных случаев на производстве	2019 год	2020 год	рост/снижение количества НС +/-
Со смертельным исходом	5	2	-3
С тяжелым исходом	21	21	0
Без тяжелых последствий	23	19	-4
Всего	49	42	-7



**Рисунок – Распределение несчастных случаев по видам работ в 2020 году**

Анализ материалов расследований несчастных случаев показывает, что основными причинами травматизма являются невыполнение потерпевшими локальных нормативных актов по охране труда и нарушение технологического процесса (потерпевшими часто допускается целый ряд нарушений инструкций по охране труда при выполнении работ).

По результатам произошедших несчастных случаев со смертельным и тяжелым исходом, проведенных мониторингов в 2020 году подготовлены приказы по лесхозам, ГПЛХО, Минлесхозу о привлечении руководителей, специалистов, рабочих к дисциплинарной ответственности и уменьшении или лишении премий.

Таким образом, в 2021 году необходимо:

- принять исчерпывающие меры по недопущению травмирования работников;
- обеспечить безусловное выполнение всеми категориями работающих норм и правил в области охраны труда;
- обеспечить выделение в необходимом количестве средств на мероприятия по охране труда.

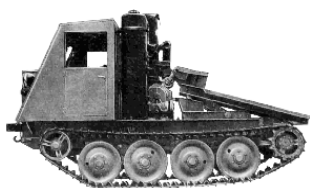
УДК 630\*3

А.А. Гордейчик, главный конструктор  
по технике холдинга «МТЗ-ХОЛДИНГ» – начальник управления;  
С.В. Михальченко, начальник конструкторского бюро  
общей компоновки специальных лесных машин УКЭР-2 (ОАО «МТЗ»)

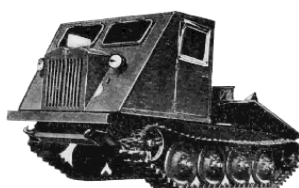
### МОДЕЛЬНЫЙ РЯД МАШИН ДЛЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА «МТЗ-ХОЛДИНГ»

Минский тракторный завод был основан 29 мая 1946 года и сегодня превратился в одного из крупнейших производителей сельскохозяйственных тракторов в мире.

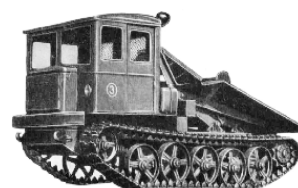
Началом производства лесозаготовительной техники на МТЗ стал выпуск гусеничного трелевочного трактора КТ-12. Первая партия этих машин сошла с главного конвейера 15 августа 1951 года. Дальнейшим развитием данного направления стал трактор ТДТ-40, серийное производство которого началось с мая 1946 года.



КТ-12



ТДТ-40



ТДТ-60

Рисунок 1

Для работы в лесных массивах Урала, Сибири и Дальнего Востока требовались еще более мощные машины. Результатом кропотливой работы конструкторов Минского тракторного завода совместно с Научно-исследовательским автотракторным институтом (НАТИ) стало создание трелевочного трактора ТДТ-60.

МТЗ не имел возможности одновременно развивать два разных производства: по выпуску колесных сельскохозяйственных и гусеничных трелевочных тракторов. В результате завод сосредоточился на производстве колесных тракторов. Производство ТДТ-40 было передано на Онежский, а ТДТ-60 – на Алтайский тракторный завод.

Начиная с 90-х годов, завод значительно расширил спектр выпускаемой техники: были разработаны семейства гусеничных тракторов, шахтных машин и универсальных шасси, а также машины для строительства, дорожного, сельского и коммунального хозяйств. Вновь вернулись и к производству техники для лесного хозяйства.

В настоящее время Минский тракторный завод разработал семейство лесных машин для сортиментной и хлыстовой технологий заготовок, используемых в лесозаготовительной отрасли.



Для выполнения различных работ по уходу за лесом заводом выпускаются лесохозяйственные тракторы, оснащенные дополнительной защитой кабины оператора и узлов трансмиссии. На данный момент ведутся работы по созданию лесохозяйственного трактора «БЕЛАРУС» Л1221.4, оснащенного двигателем экологического класса Stage IIIA.



Рисунок 2

Для хлыстовой технологии заготовок на базе лесохозяйственных тракторов создана линейка трелевочных тракторов с тросо-чокерным оборудованием, оснащаемых трелевочными лебедками с тяговым усилием до 8 тонн.



Рисунок 3

Для трелевки сортиментов на лесосеках с хорошей несущей способностью грунтов предназначены двухзвенные погрузочно-трелевочные машины МПТ-461.1 и МПТ-461.2. Для работы в более сложных условиях разработана модификация машины МПТ-461.2 с гидравлическим приводом колес полуприцепа. Перспективным направлением является разработка полуприцепа лесовозного «БЕЛАРУС» ПЛ-10. Положенная в основу данного полуприцепа однобалочная конструкция рамы совместно с использованием высокопрочных сталей позволит значительно снизить его собственный вес.



Рисунок 4

На МТЗ также продолжается модернизация серийно выпускающихся форвардеров МЛПТ-344 и МЛ-131. Машины будут оснащены удлиненной рамой с новым механизмом блокировки горизонтального шарнира, гидросистемой с регулируемым насосом, получают в качестве опции возможность установки лебедки для самовытаскивания и топливозаправочного насоса. Для повышения комфорта работы оператора будут установлены эргономичные регулируемые подлокотники, стереосистема, новый механизм поворота сиденья и выполнен ряд других доработок конструкции машины.



«БЕЛАРУС» МЛПТ-344



«БЕЛАРУС» МЛ-131

Рисунок 5

«МТЗ-ХОЛДИНГ» предлагает машины для различных технологических процессов заготовки топливной щепы. Для производства топливной щепы на лесосеке хорошо подходит рубильная машина «БЕЛАРУС» МР-25 с приводом от ВОМ трактора. Для работы на промежуточном складе созданы машины «БЕЛАРУС» МР-40 и «БЕЛАРУС» МР-100 с приводом от автономного двигателя.



«БЕЛАРУС» МР-25



«БЕЛАРУС» МР-40



«БЕЛАРУС МР-100»

Рисунок 6

На ОАО «Мозырский машиностроительный завод» освоен выпуск гидроманипуляторов различной грузоподъемности. Данные манипуляторы предназначены для установки на двухзвенные погрузочно-транспортные машины, форвардеры, рубильные машины и сортиментовозы. В рамках дальнейшего развития данного направления ведутся работы как по совершенствованию уже выпускаемых, так и по созданию новых моделей с улучшенными характеристиками: увеличенным вылетом стрелы и грузовым моментом.



ГМ-42Т



ГМ-50.2



М75-04



М80L86»

Рисунок 7

И. В. Войтов, проф., д-р техн. наук;  
С. В. Шетько, доц., канд. техн. наук;  
И.К. Божелко, доц., канд. техн. наук;  
О. К. Леонович, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИННОВАЦИОННЫЕ АСПЕКТЫ СТРАТЕГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА В ОБЛАСТИ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ И ДЕРЕВООБРАБОТКИ**

На конференции ООН по устойчивому развитию «РИО + 20» (Рио-де-Жанейро), 20-22 июня 2012 г.) с девизом «Будущее которое мы хотим») констатировалось, что экономическое развитие может привести к быстрому накоплению физического и человеческого капитала за счет чрезмерного истощения и деградации природного капитала. Главное беспокойство заключается в том, что безвозвратное исчерпание мировых запасов природных богатств (не возобновляемых природных ресурсов) в современном мире имеет пагубные последствия для благосостояния будущих поколений [1].

Самое необычное в сложившейся ситуации то, что «оценивать» правильность выбора будут не сами люди, сколько окружающая их природная среда и биосфера в целом. [2].

В лесопромышленном комплексе Республики Беларусь необходим комплекс мер по эффективному и рациональному использованию лесных ресурсов с соблюдением их природоохранной функции.

В настоящее время в Республике Беларусь наблюдается значительный рост заготовки леса, так в 2020 он составил более 27 млн м<sup>3</sup> и по прогнозным показателям Министерства экономики в 2025 году достигнет 30 млн м<sup>3</sup>.

Ежегодный прирост в лесах Республики Беларусь составляет около 32 млн м<sup>3</sup>. Однако необходимо отметить, что не используется в народном хозяйстве и безвозвратно погибает под пологом леса около 7 млн м<sup>3</sup> кустарниковой и тонкомерной древесины из-за отсутствия лесных дорог и малогабаритной лесозаготовительной техники, работающей под пологом леса. Практически не используются и порубочные остатки (ветки, сучья, пни, вершинная часть деревьев) в общем объеме около 2,4 млн м<sup>3</sup>. Таким образом, 9,4 млн м<sup>3</sup> не используются в народном хозяйстве. При таких темпах заготовки леса и периода потепления, осложняющего зимнюю заготовку, постепенно возникнет дефицит древесины, возрастут цены и на предприятиях, выпускающих продукцию

с длительными циклами переработки, потребуются значительные объемы оборотных средств.

Лесопромышленный комплекс Республики Беларусь сформировался в основном на базе предприятий концерна «Беллесбумпром», Минлесхоза, иностранных и частных предприятий, потребляющих соответственно 6 млн м<sup>3</sup>, 5,5 млн м<sup>3</sup> и 11,5 млн м<sup>3</sup> заготовленной древесины. Удельный вес в объемах промышленного производства республики достиг 6%, обеспечен рост удельного веса в экспорте промышленных товаров до 7,2%. Однако в удельном весе экспорта уменьшается выпуск мебели и значительно возрастает экспорт сырых пиломатериалов. Из 25 млн м<sup>3</sup> заготавливаемой древесины только 0,8 млн м<sup>3</sup> или 5% потребляется при производстве мебели и 80% экспортируется в виде сырых пиломатериалов. Концерн «Беллесбумпром», предприятия «Кроноспана», ВМГ направляют свои усилия на создание продукции с высокой степенью глубины переработки лесосырьевых ресурсов.

Если рассматривать глубину переработки как соотношение добавленной стоимости единицы продукции к стоимости сырья использованного на его производство и выразить ее через коэффициент глубины переработки, показывающий во сколько раз стоимость лесопродукции определенного вида, которая добавлена к стоимости 1 м<sup>3</sup> лесосырья, использованного для выпуска данного вида продукции, превышает (увеличивает) стоимость этого лесосырья. Т.е. это отношение добавленной стоимости 1 м<sup>3</sup> лесосырья стоимости продукции к стоимости этого лесосырья. Проведенные расчеты глубины переработки основных видов продукции на примере концерна «Беллесбумпром». Так коэффициент глубины переработки пиломатериалов - 0,35; фанеры – 1,91; ДСтП – 4,04; ДВП – 4,75; бумаги – 9,13; картона – 3,78; мебели – 2,69. Общий уровень глубины переработки в 2005 году составлял 2,31 [3].

Предприятия концерна «Беллесбумпром» специализируется на производстве лесо- и пиломатериалов, выпуске плитных материалов, бытовой и специальной мебели, столярных изделий, целлюлозы, картонно-бумажной продукции. Указанные виды продукции являются традиционными, не входят в Перечень высокотехнологичных товаров Республики Беларусь, утвержденный постановлением Совета Министров Республики Беларусь от 23.06.2012 № 574, и относятся к группе среднетехнологичных товаров.

Технологии, применяемые при производстве указанных видов продукции, в подавляющем большинстве случаев относятся к III – IV

технологическим укладам. Эффективное направление развития сдерживает отсутствие предпроектного научного сопровождения новых масштабных проектов с ведущим ВУЗом в отрасли – БГТУ, отсутствие технического управления в отрасли и как результат отсутствие сопровождения и кураторства программы ГПНИ «Деревообработка».

В республике Беларусь доля деревянного домостроения занимает менее 5%, несмотря на то, что имеются инновационные технологии по производству деревянных щитовых конструкций для их изготовления. В Канаде и Западной Европе их доля особенно деревянных домов каркасного типа достигает 80% [4,5].

Ранее направления развития лесопромышленного комплекса определяли с учетом стратегий, выработанных Министерством лесной и деревообрабатывающей промышленности на основании исследований и заключений ведущих ВУЗов страны, а также ВНИИдревмаш, НИИ ВНИИдрев, ЦНИИфанеры, ЦНИИМОД, ЦНИИСК.

На сегодня в Республике Беларусь подготовку кадров для лесной и деревообрабатывающей отрасли осуществляет УО «Белорусский государственный технологический университет» и в силу своих возможностей, исследует новые направления в эффективном использовании лесных ресурсов, привлекает профессорско-преподавательский состав к исследованиям и разработке новых видов материалов и продукции. Отраслевого научно-исследовательского центра по проведению научных исследований в деревообрабатывающей отрасли нет.

Попытки создания отраслевых лабораторий, опять же базирующихся на кадрах профессорско-преподавательского состава без отрыва от основной преподавательской деятельности, позволяют решать лишь незначительные задачи в основном связанные с решением текущих проблем производственных предприятий.

Уровень развития науки является определяющим фактором конкурентоспособности страны.

По отношению к объему валового продукта Республика Беларусь, да и производственный сектор выделяет на НИР в 2-4 раза меньше средств, чем страны ЕС.

В промышленности доля слаборазвитых производств достигает

Валовая выработка продукции в Беларуси на 1 жителя составляет около 6 тыс. дол. США в ЕС она составляет более 40 тыс. дол. США в США 62 тыс. дол. США на душу населения.

Целью и задачей технологического инновационного развития лесного комплекса является:

сохранение природоохранной и природозащитной функции лесов; создание высокотехнологичных производств и усовершенствование технологий действующих производств, для создания продукции с высоко добавленной стоимостью.

Целью экологизации является укрепление технологического потенциала отраслей для обеспечения его функционирования на экологических «зеленых» принципах экономики, предотвращения (минимизации) вреда, наносимого производственной деятельностью окружающей среде и здоровью человека, за счет внедрения в производственный процесс прогрессивных технологий и современной техники, эффективного управления окружающей средой при обеспечении намеченного роста производства продукции.

Повышению уровня экологической безопасности способствует использование имеющегося мирового опыта по внедрению интегрированных систем менеджмента в соответствии с международными стандартами ISO 9000 (менеджмент качества), ISO14000 (экологический менеджмент), введение в республике комплексного аудита безопасности, организация системы обязательного страхования гражданской ответственности юридических лиц и индивидуальных предпринимателей, осуществляющих экологически опасную деятельность. Внедрение сертификация продукции по стандарту FSC. Товарный знак FSC на продукции рассматривается как гарантия легальности происхождения лесопроductии, соблюдения принципов устойчивого управления лесами, высокого уровня социальной ответственности.

Перспективные инновационные направления переработки древесины в лесном комплексе в деревообрабатывающей промышленности:

– переработка лесосечных отходов в технологическую щепу, пеллеты, торрефицированные пеллеты, или щепу для мульчирования почвы перед посадкой леса.

переработка шпона хвойных пород в большеформатную фанеру, плиты и балки LVL

разработка нормативной и проектной документации для создания и эффективного внедрения в строительство домов продукта с высокодобавленной стоимостью из тонкомерных пиломатериалов используемых при производстве щитов CLT, МНМ,

разработка научных основ и организация внедрения производства огнебиостойких плит и фанеры (ФСФ-ТВ, ФСФ-ТМ), специальных видов фанеры (облицованной, вибропоглощающей авиационной), оцилиндрованных пропитанных кольев и садовой мебели, строительных

конструкций, энергоэффективных деревянных домов каркасного типа, деталей из древесины и плит для автостроения и вагоностроения

- разработка технологии экологически безопасных разлагающихся пленочных материалов из отходов целлюлозосодержащих деревообработки и сельского хозяйства.

- разработать технологии производства композиционных материалов (теплоизоляционных плит, паролита для дорожного покрытия, грубых кормов и др.) из коры, отходов лесозаготовительных и деревообрабатывающих производств и других целлюлозосодержащих материалов.

- внедрять в производство плитной продукции, производство защитных средств, гидрофобизаторов продукты переработки пиролизного лигнина: высокомолекулярные соединения фенола, альдегиды, спирты, эфиры, олканы, альдегиды, кетоны, фураны и т. д.;

- внедрять технологии по выпуску древесных и активированных углей.

- разработать технологии производства диспергированных, экологически безопасных огнебиозащитных средств, для глубокой низкотемпературной защиты древесины и плит ДСтП, МДФ, HDF.

В заключение отмечаем, что для организации инновационного развития деревообрабатывающего комплекса необходимо:

- внедрение цифровой экономики в деревообрабатывающей отрасли с организацией системы единой государственной автоматизированной информационной системы учета древесины пиломатериалов, изделий из нее и сделок с ними.

Приоритеты развития:

- 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, в т.ч. и с арендных участков, а также отходов деревообработки для выпуска древесного топлива (гранул и брикетов, композиционных материалов);

- выполнить НИР по научно-обоснованному балансу прироста и потребления и восстановления лесных ресурсов в Республике Беларусь

- планировать создание новых производств исходя из объективного анализа рынка сбыта продукции и объема выпуска валового продукта с высоко добавленной стоимостью, на одного работающего не менее 150 тыс. долларов США, что обеспечивает среднестатистический уровень высокоразвитых стран и выработку валового продукта на

душу населения 50 тыс. дол США; с использованием новейших технологий мирового уровня и прибылью в 2 раза превышающую инфляцию (рентабельность по пиломатериалам не ниже 20%, строительным деталям -25%, мебели 30% композиционных материалов -40%).

– развитие мебельного направления осуществлять в направлении «Экологическая мебель», а также изготовление мебели, пригодной для вторичной переработки; изготовление мебели из переработанных материалов или более устойчивых пород дерева для уменьшения воздействия на окружающую среду; изготовление мебели для более гибкого рабочего пространства;

– создать отраслевой институт деревообработки с бюджетным финансированием при УО «Белорусский государственный технологический университет», по инновационному развитию отрасли и технологиям V–VI технологического уровня: создание новых композиционных материалов в т. ч. специализированных видов прессованных плитных материалов и изделий для строительства и производства мебели и столярно-строительных изделий, домостроения, дорожного строительства; – разработке и внедрению роботизации; – биотехнологий, создание биоразлагаемых пленок; – химии новых материалов с заданными свойствами; производство наноматериала, пленок с различными свойствами; – геной инженерии по клонированию быстрорастущих пород древесины; новых инновационных материалов и изделий;

– определить государственное структурное подразделение, отвечающее и регулирующее нормативных, экономических, и информационных показателей и производящее консультативные функции за соблюдением законодательства на всех предприятиях независимо от форм собственности;

– активизировать разработку основополагающих стандартов для проектирования и строительства деревянных домов и крупнопролетных объектов в т. ч. купольного типа из древесины;

– исключить из подчинения деревообрабатывающих объединений непрофильные предприятия, выделить их в отдельные подразделения для управления соответствующими органами в соответствии с их видами деятельности;

– в бюджете страны предусмотреть формирование целевого бюджетного фонда национального развития инновационных производств в области деревообрабатывающей промышленности и направлять их на более значимые инновационные проекты, научно-исследовательские разработки и стройки;



– разработать методику и постоянно анализировать уровень промышленной активности предприятий в сравнении с предшествующим периодом;

– усилить контроль за регулированием ввозных и вывозных таможенных пошлин на экспортируемые и импортируемые товары во избежание вывоза сырых пиломатериалов и ввоза готовых изделий, в достаточном количестве производимых предприятиями Республики Беларусь.

– усилить взаимодействие между различными трудовыми организациями и предприятиями, а также научно-техническими структурами и институтами.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рио-де-Жанейрская декларация по окружающей среде и развитию : принята Конференцией ООН по окружающей среде и развитию, Рио-де-Жанейро, 3-14 июня 1992 г. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://www.un.org/ru/documents/decl\\_conv/declarations/riodecl/shtml](http://www.un.org/ru/documents/decl_conv/declarations/riodecl/shtml). – дата доступа: 10.11.2020

2. Войтов И. В. Научно-методические основы анализа и оценок технологического прогнозирования развития новых высокотехнологичных промышленных производств / И. В. Войтов, М. А. Гатих, В. А. Рыбак. – Минск: БГТУ, 2015. – 532 с.

3. Леонович О. К. Стратегия инновационного развития лесопромышленного комплекса Республики Беларусь // тезисы 84-й науч.-технич. конференции, посвященной 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с международным участием), Минск, 03–14 февраля 2020 г. [Электронный ресурс] / отв. за издание И.В. Войтов; УО БГТУ. – Минск: БГТУ, 2020. – С. 13-15.

4. Шетько С. В., Рапинчук Д. Л. Инновационная технология конструктивных элементов для деревянного домостроения из пиломатериалов низких сортов // Труды БГТУ, – №2 Лесная и деревообрабатывающая промышленность. – С. 112-113.

5. Леонович О. К., Божелко И. К. Концепция развития экологически безопасного деревянного домостроения в республике Беларусь / О. К. Леонович, И. К. Божелко // Архитектура и строительные науки. №1, 2 (22, 23) 2019. С. 60–64.

УДК 630\*36

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

### **ОЦЕНКА ПОТЕНЦИАЛА РЕКУПЕРАЦИИ ЭНЕРГИИ В ПРОЦЕССЕ ВАЛКИ ДЕРЕВА ХАРВЕСТЕРОМ**

Одним из способов повышения энергетической эффективности мобильных машин является создание систем и механизмов способных восстанавливать энергию, затраченную на совершение работы. Данный процесс принято именовать рекуперацией. Исследованию возможностей рекуперации энергии движения машин различного назначения, уделяется пристальное внимание ученых во многих отраслях промышленности. На сегодняшний день механизмы рекуперации внедрены в легковых и грузовых электромобилях, автомобилях с гибридными силовыми установками и электропоездах. Принципы рекуперации, используемые в данных машинах, разнообразны, однако эффективность многих из них часто подвергается критике. Особенно скептически ученые относятся к эффективности рекуперации в легких электромобилях. Считается, что малость тормозного пути в общем времени цикла движения машины не позволяет эффективно заряжать аккумуляторы, а величина рекуперированной энергии не превышает 1% от общего объема ее потребления, что не оправдывает затрат на оборудование машин такими системами.

Не смотря на широкое применение идеи рекуперации энергии в других отраслях, в специализированных лесных машинах она не получила достаточного распространения на современном этапе. Преимущественно это связано с недостаточным объемам исследований в области рекуперативных возможностей на лесопромышленных операциях. В настоящее время в странах европейского союза в рамках программы Horizon 2020 реализуется 2 обширных проекта (Tech4effect и Forwarder 2020) с общим объемом финансирования свыше 1 млн евро, которые направлены на создание новых образцов мобильных лесных машин и повышение эффективности их работы. Зарубежные ученые считают, что наибольшим потенциалом повышения энергоэффективности обладают системы рекуперативного

торможения. К примеру, одной из целей программы Forwarder 2020 является снижение на 30% потребления топлива форвардером на погрузочно-разгрузочных операциях за счет рекуперативного торможения при использовании манипулятора

Ранее проведенные авторами исследования проблем технологической организации лесозаготовительного производства и эффективной эксплуатации лесных машин позволили сделать вывод о том, что помимо энергии непосредственного движения лесной машины эффективно рекуперироваться может и энергия других операций, присутствующих только в лесозаготовительном производстве. Потенциально-возможными источниками энергии, в этом случае являются: падение дерева при валке, торможение ствола дерева при обрезке сучьев, торможение рабочих органов, в частности манипуляторов на погрузочно-разгрузочных операциях и др.

В рамках настоящей статьи проведен предварительный энергетический анализ операции валки дерева харвестером. Получены данные о возможной продолжительности рекуперации и величине вырабатываемой энергии. В качестве базовой машины, совершающей операцию валки дерева, принят харвестер Амкодор 2551, как наиболее часто используемый на рубках главного пользования в нашей стране.

Моделирование падения дерева в поле сил тяжести, при действии силы сопротивления воздушной среды и момента рекуперативного устройства проводилось в программном пакете MathCad 14. В качестве начальных условий принято отклонение продольной оси дерева от вертикали на угол  $\varphi = 0,1^\circ$  и отсутствие начальной угловой скорости его движения.

Организация процесса рекуперации на операции валки дерева возможна на основе использования механизмов вращательного или поступательного действия. В случае рекуперации в электрическую энергию – это генераторы, а для гидравлической энергии можно использовать существующие гидроцилиндры подъема-опускания харвестерной головки с переводом их работы при сжатии в контур гидравлического рекуператора. При этом для процесса рекуперации важна не только конечная величина вырабатываемой энергии, но и потенциально возможная продолжительность ее накопления.

Поскольку рекуперативный момент  $M_{рек}$  является моментом сопротивления падению дерева, то чрезмерное повышение его величин и раннее возникновение может привести к полной остановке процесса валки. Это должно учитываться при разработке подобных

систем. В этой связи анализ процесса валки дерева с рекуперированием его кинетической энергии проведен для моментов начала рекуперации соответствующих углов поворота  $\varphi_{\text{н.рек}} = \pi/32$  (рис. 2),  $\pi/16$ ,  $\pi/8$  и  $\pi/4$ .

Стоит отметить, что для достижения такой эффективности торможения требуется реализация весьма значительных рекуперативных моментов. Вопросы создания механизмов, способных их обеспечить должны быть изучены дополнительно, как это сделано для устройств рекуперации в иных областях. При этом достигаемый эффект должен быть проанализирован в полном цикле работы машины, с учетом работы иных систем, повышающих эффективность харвестера. Сама же рекуперированная энергия может быть накоплена в пневмогидравлическом аккумуляторе мембранного типа либо, в перспективе, по средством системы суперконденсаторов. Производство гидроаккумуляторов налажено ведущими мировыми производителями в данной области (Bosch, Parker, EST, Eaton, Hydac). Данные гидравлические аккумуляторы имеют рабочее давление до 40 МПа, обеспечивают высокую «плотность» накопленной энергии (до 195 кДж/л) и производятся с объемом до 50 л, что способно полностью обеспечить потребности в накоплении рекуперированной энергии. Масса таких гидравлических аккумуляторов варьируется в широком диапазоне от 45 кг для 9 литрового баллона до 167 кг для 48 литрового.

Область использования полученной при рекуперации энергии в приводах харвестеров достаточно широка. Среди наиболее перспективных – компенсация запаздывания процесса регулирования гидронасосов во время начала работы нескольких объемных гидравлических потребителей; привод малообъемных потребителей (пильные механизмы, ротаторы, поворотные устройства манипуляторов и т. д.), питание дополнительного оборудования (освещение, кондиционирование и т. п.) после преобразования в электрическую энергию.

С. А. Голякевич, доц., канд. техн. наук;  
В. С. Столбин, магистрант (БГТУ, г. Минск)

## **АНАЛИЗ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В ОБЛАСТИ ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫХ МАШИН И ТЕХНОЛОГИЙ НА ЛЕСНЫЕ ЭКОСИСТЕМЫ**

В зависимости от учитываемых сил, взаимодействие шины и почвы может рассматриваться разными способами. Простейшими из них являются: *площадь контакта* и *поверхность контакта*. Использование моделей измерения *площади контакта* уместно при анализе простых моделей условного статического колеса, при котором не учитываются динамически изменяющиеся величины, такие как прогиб шины, упругость грунта и другие. При использовании такого способа основной изменяемой величиной является вертикальная нагрузка на колесо. Приложив некоторую нагрузку, отмечается линия соприкосновения колеса с грунтом, после, учитывая геометрические характеристики колеса, рассчитывается *площадь* контакта.

Для более точных исследований, значения которых должны быть приближены к реальной модели взаимодействия, существует методика расчета *площади* и *поверхности* контакта грунта и колеса с протектором. Согласно такому способу оценки, характеристики контакта разделяются на три вида: идеальные, реальные и эффективные.

Идеальная модель поверхности контакта является теоретической моделью, которая подходит для вывода средних значений и представляет собой прямоугольное пятно.

Реальная модель учитывает динамические изменяющиеся характеристики колеса.

Эффективная модель служит для комплексной оценки реального взаимодействия, например, для оценки контактного давления, с учетом напряжения концентрирующегося в областях между сегментами протектора.

В зависимости от методов анализа, применяемых при проектировании модели механизма взаимодействия колеса с поверхностью движения, выделяют три основные группы: эмпирические, полумпирические и теоретические. Перейдем к рассмотрению теоретических моделей.

**Жёсткое колесо на твёрдой поверхности.** Согласно данной модели, результирующая взаимодействия абсолютно жесткого колеса, то есть такого колеса, при расчете которого пренебрегают его динамически меняющимися геометрическими и физическими характеристиками, с твердой поверхностью, является *контактная поверхность* в виде линии, длина которой, равна ширине шины. Переноса данную модель на практику, получаем малую *площадь контакта* и, соответственно, высокое *контактное давление*. Поскольку, длина контакта ( $l_c$ ) близка к нулю ( $l_c \approx 0$ ), а значит и площадь контакта, также близка к нулю ( $S$  или  $A \approx 0$ ).

**Пневматическая, гибкая шина на твёрдой поверхности.** Данная теоретическая модель учитывает изменение геометрических характеристик колеса при движении по твёрдой поверхности, а именно, изменение его радиуса, то есть прогиб колеса.

**Пневматическая, гибкая шина на мягком грунте.** Дальнейшее развитие, модель гибкой шины получила за счет введения переменных показателей упругих и пластических деформаций грунта, что позволило обосновать геометрическую модель изменения уровня проваливания шины.

Введение понятия пневматической шины дало возможность оценивать изменение во времени ее качественных характеристик: форма шины, давление в шине, нагруженность шины и др. Учитывая эти характеристики и свойства грунтов, стало возможным с большей точностью рассчитывать реальную площадь следа пневматической шины на различных типах грунта с определенной точностью. На твердой поверхности под узкими шинами большого диаметра с высоким давлением накачки форма контакта является эллиптической. У более широких шин форма более округлая.

**Эмпирические модели для площади следа контакта шины.** Эмпирические модели базируются на таких моделях, в которых наблюдаемая площадь следа является зависимой переменной, а независимыми переменными являются некоторые параметры шины и грунта. Обычно используемыми параметрами шины являются давление в шинах, диаметр и ширина шины, или модуль жесткости шины. В качестве параметров почвы обычно выступают: сопротивление почвы проникновению, по которым можно также судить о ее несущей способности, или модуль упругости почвы и его составляющие.

С развитием научно-технического прогресса, моделирование реального поведения колеса на грунте получило вид моделирования методом конечных элементов.

Таким образом, развитие моделей оценки взаимодействия колесного движителя лесных машин с почвогрунтом среды их эксплуатации, тесно связано с развитием различных методик моделирования самого понятия колеса. Наличия большого количества, гораздо большего, чем было представлено в данной статье, методик расчета характеристик колесного движителя обусловлено развитием научно-технического прогресса, который позволяет применять новые методы оценки и предлагать принципиально новые решения. С одной стороны, такое обилие подходов позволяет использовать тот принцип проектирования, который необходим для обоснования выбора технических характеристик лесной машин в конкретно заданных условиях, отвечающих запросам потребителя. Но с другой стороны, отсутствие унифицированной расчетной, проектной методики усложняет дальнейшую оценку влияния от применения конкретно взятой лесной машины на экологические показатели среды ее эксплуатации. Таким образом, исследования в этой области с целью предложить однозначно обоснованную модель колесной системы машин, использующихся в лесных комплексах, и методы их расчета, по сей день является перспективным направлением машиностроения, природопользования, сельского хозяйства и других отраслей деятельности человека.

К.С. Досалиев, доц., канд. техн. наук;  
А.Е. Асылбек, магистрант; А.Б. Токсан, магистрант  
(Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова,  
Республика Казахстан, г. Шымкент)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ УТЕПЛИТЕЛЯ ПЕНОПОЛИСТИРОЛА В НИЖНЕМ СЛОЕ ДОРОЖНОЙ ОДЕЖДЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ**

В последние десятилетия Казахстан стал активным участником мировых интеграционных процессов. Важным элементом экономической интеграции является качественная транспортная инфраструктура, обеспечивающая внутренние и транзитные перевозки грузов и пассажиров с высоким уровнем сервисного обслуживания.

Известно, что автомобильные дороги республики являются одним из главных отраслей в обеспечении лучшего уровня жизни населения. Свыше 80% грузо- и пассажиро- перевозок в Казахстане осуществляется автомобильным транспортом. Бесперебойное своевременное доставка грузов, безопасная и комфортабельная перевозка пассажиров в значительной степени зависят от технического состояния дорог. В нынешних условиях развития общества ни требует коренного улучшения, т.е. вопросы проектирования, строительства и эксплуатации не вполне отвечают современным требованиям.

Технические параметры в основном остались такие же, которые были установлены соответствующими нормативными документами, разработанные и утвержденные в начале восьмидесятых годов прошлого века. Темпы развития автомобилизации населения республики интенсивно растут. Соответственно повышаются требования к безопасности движения и надежности конструктивных элементов дорог. Данной проблемой занимаются ученые и специалисты республики, в т. ч и ученые нашего университета, изучая надежность конструктивных элементов дорог, которая зависит от многих факторов. Самыми значимыми из них являются обеспечение высокой прочности и жесткости элементов дорог.

Земляное полотно автомобильных дорог увлажняются выпадающими осадками и грунтовыми водами. В зимний период увлажненное земляное полотно поддается пучению от отрицательных наружных температур, которые изменяется в объеме и происходит разрушение верхнего слоя дорожной одежды. Поэтому, основной причиной разрушения земляного полотна автомобильной дороги является не сохранение водно-теплового баланса нижнего подстилающего слоя дорожной одежды [1].



В годовом цикле изменения водного режима земляного полотна можно обосновать и охарактеризовать в следующие периоды:

- первоначальное накопление влаги осенью в результате просачивания атмосферных осадков;
- промерзание земляного полотна и зимнее перераспределение влаги;
- оттаивание земляного полотна и весеннее переувлажнение грунта;
- летнее удаление влаги и просыхание земляного полотна.

В зимне-весенние периоды процессы «промерзание-оттаивание» в верхних частях земляного полотна избыточно увлажненного грунта сопровождаются морозное пучение грунта и образование балластных лож и местных смываний откосов в весеннее время года. Повышенное увлажнение земляного полотна в просадочных грунтах приводит к формированию в верхней части земляного полотна грязевых мешков, серьезно осложняющих эксплуатацию проезжей части пути автомобильной дороги [2].

Авторами [2] отмечено, что вымывание грунта откосов возникает при глубине оттаивания 0,3-0,8 м по плоскостям раздела оттаявшего и мерзлого грунта. При высоте насыпей до 4 м, отсыпанных, в весенний период года обычно местного вымывания грунтов откосов не происходит. Чаще всего это наблюдается на насыпях высотой более 4-6 м.

В ходе проектирования земляного полотна новых автомобильных дорог и при усилении существующего земляного полотна необходимо учитывать как прочностные характеристики местных грунтов, так и глубину их промерзания с учетом высоты насыпей земляного полотна. Так, например, при высоте насыпи из глинистых грунтов более 6 м целесообразно проведение проверочных расчетов прочности и устойчивости земляного полотна автомобильной дороги. Для новых автомобильных дорог в Республике Казахстан наиболее эффективна разработка и применение зонально-поперечных профилей земляного полотна из глинистых грунтов в представленных трех зонах профессором А.Д. Омаровым [2]. Необходимость более детального учета грунтовых и климатических условий предлагалась рядом специалистов [3,4], однако для Республики Казахстан проблема обеспечения стабильности земляного полотна автомобильных дорог до настоящего времени остается нерешенной.

Местная потеря устойчивости земляного полотна связана со смещением поверхностных слоев грунта откоса и обусловлена процессами физического выветривания, солифлюкционного течения грунтов и формированием балластных шлейфов.

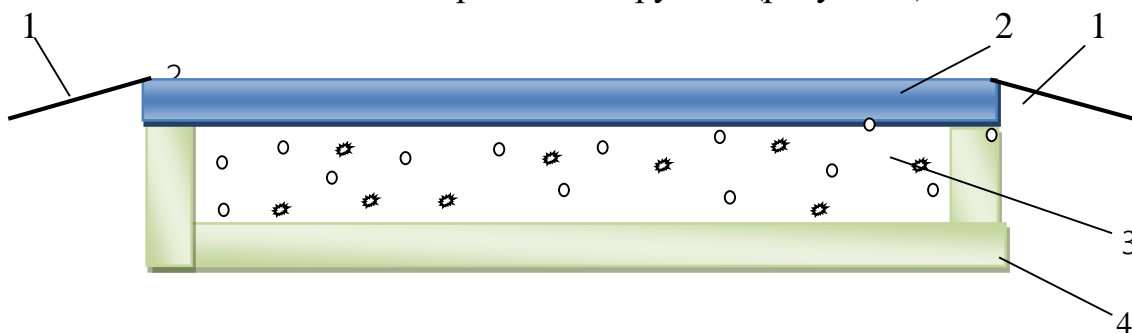
Общая потеря устойчивости полотна автомобильных дорог также связана с тем, что поверхность смещения откоса происходит достаточно глубоко и провоцирует обрушения основной площадки земляного полотна.

Наиболее опасным видом деформаций земляного полотна является потеря устойчивости всех частей строения автомобильной дороги, так как увлажнение приводит к потере устойчивости и их реализация происходит достаточно быстро, приводя к выходу из строя всего перегонного участка.

Сочетание указанных факторов, как указано в работе [5], приводит к образованию разуплотнённых и обводнённых зон насыпи, проявляющихся в виде балластных углублений, способствующих формированию и развитию дефектов, обуславливающих общую потерю устойчивости откоса.

К балластным углублениям относятся дефекты основной площадки верха дорожной одежды, формирующиеся в результате вдавливания в грунт материала балластной призмы, которое происходит из-за некачественного устройства или отсутствия разделительных слоев верхнего строения дорожной одежды. Это приводит к образованию локальных углублений, аккумулирующих воду. Водонасыщение грунтов влечет за собой снижение их механических характеристик и способствует интенсивному развитию углубления колеи автомобильной дороги, ям, а также просадки земляного полотна.

Предотвратить вышеуказанные явления предлагается устройством в теле земляного полотна теплоизолирующего и гидроизолирующего слоя с использованием пенополистирола. Конструкция (рисунок 1).



1 – обочина, 2 - дорожная одежда (асфальтобетонное покрытие), 3 – земляное полотно, 4 – гидро- и теплоизоляционный слой из пенополистирола

**Рисунок 1 – Конструкция нижнего слоя земляного полотна с устройством пенополистирола**

Пенополистирол является дисперсной полимерной системой, структура которого взаимно распределены в пространстве полимер и газовая среда. Форма ячеек со временем вне зависимости от первоначального состава неизбежно замещается на воздух. Структура пенополистирола состоит из множественных ячеек, размеры которых не превышают 0,02 мм и разделены между собой тонкими полимерными пленками [6].

Ячеистый пенополистирол, благодаря закрытыми между собой тонкими полимерными пленками, обладает такими уникальным

свойством, как низкая гидро- и теплопроводность. Также пенополистирол является достаточно стойким по отношению к действию влаги. Такой результат достигается за счет закрытого пористого строения исследуемого материала и составляет менее 0,2% в общем объеме [6]. Это нам позволит применить пенополистирол в нижнем слое дорожного полотна, без каких либо дополнительных слоев гидроизоляции.

Применение пенополистирола в качестве тепло- и гидроизоляционного слоя в нижнем слое земляного полотна приводит к изменению водно-теплого режима, существенно влияет на долговечность земляного полотна, прочность дорожной одежды и приводит к снижению транспортно-эксплуатационных свойств дорог. В настоящее время отсутствует методика расчета долговечности пенополистирола в теле земляного полотна и требует дальнейших исследований.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Досалиев Қ. С. Исследование влияния структуры автомобильных дорог «земляное покрытие-асфальтобетон» на безопасность жизнедеятельности при эксплуатации. Диссертация на соискание степени доктора философии: 6Д073100: – Шымкент: Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, 2018. -142 с.
2. Жантасов К.Т., Молдабеков Ш.М., Наукенова А.С., Досалиев К.С. Причины снижающие устойчивость земляного полотна автомобильной дороги // «Вестник» Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева. - Астана, 2016. №2 (111) - С. 191-194.
3. ООО "ГЕОСИНТ". ГЕО СИНТЕТИКА // Казань. - 2010. (<http://geosynt.ru/category/article/>).
4. Богомоллов А.Н. Оценка напряженно-деформированного состояния, величины коэффициента устойчивости и сил оползневого давления в однородном изотропном откосе с целью управления оползневыми процессами // Вестник ВолгГАСУ. Серия Строительство и архитектура.-2008.-Вып. 10(29). – С. 74-80.
5. Алексеев А., Бабков В.Ф. Бируля А.Г. Справочник инженера-дорожника. Содержание и ремонт автомобильных дорог. - М.: Транспорт, 2017. – 125 с.
6. Информационный портал ПЕНОПЛЭКС [электронный ресурс]//0материале/материал. URL: [http://www.penoplex.ru/subsection/about\\_material.html](http://www.penoplex.ru/subsection/about_material.html) (дата обращения 22.06.2012).

УДК 630

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук;  
Н.И. Жарков, ст. науч. сотр., канд. техн. наук;  
Смеян А.И., науч. сотр., канд. техн. наук;  
студ. Жлобич П.Н. (БГТУ, г. Минск)

## **ИСПЫТАНИЕ ОПЫТНЫХ УЧАСТКОВ ПОДЪЕЗДНЫХ ПУТЕЙ, УСТРОЕННЫХ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОТХОДОВ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Исследование применения лесозаготовительного производства при устройстве подъездных путей предполагало закладку и испытание опытных участков на покрытых лесом территориях ряда ГЛХУ, в частности проводились измерения прочностных параметров посредством стандартных методик и применения для этих целей приборов. В полевых условиях экспресс методом находили объемную массу грунта, посредством режущих колец, измеряли прочностные свойства микропроцессорным грунтовым пенетрометром и с помощью ударника СоюздорНИИ. Измерения проводились многократно, как в колесопроводах, так и вне зон перемещения колес автотранспорта обочины и межколейное пространство.

Основными определяемыми физическими показателями являлись плотность песчаного грунта на поверхности элементов слоя покрытия и определение прочностных показателей (рисунок 1).



**Рисунок 1 – Взятие пробы режущим кольцом и определение прочностных характеристик пенетрометром ПГ-3М**

Пример результатов измерений в табличной форме приведены в таблицах 1, 2.

**Таблица 1 – Данные опыта по определению объемной массы грунта**

Показатели	Определение		Среднее значение
	1	2	
Высота режущего кольца, мм	20	20	20
Диаметр режущего кольца, мм	56,7	56,7	56,7
Объем кольца $V$ , см <sup>3</sup>	11,34	11,34	11,34
Масса пластин $q_1$ , г	3,98	2,97	3,475
Масса пластин $q_2$ , г	42,23	42,24	42,235
Масса кольца с грунтом и пластинами $q$ , г	126,65	127,31	126,98
Объемная масса грунта $\gamma_0$ , г/см <sup>3</sup>	7,09	7,15	7,12
Влажность грунта $W$ , %	5,45	5,45	5,45

Значения полученных при опытных исследованиях прочностных показателей приведены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты определения прочности плотномером ПГ-3М**

Наименование показателей	Величина			Примечание
	ось дороги	левая колея	правая колея	
1. Сопротивление вдавливанию рабочего накопечника, $E_w$ , Н/см <sup>2</sup>	175	166	149	Измерения производились пенетрометром ПГ-3М
2. Модуль упругости покрытия, $E_g$ , МПа	35,9	34,6	32,6	
3. Удельное сцепление, $C_g$ , МПа	0,0197	0,0194	0,0187	
4. Угол внутреннего трения, $\varphi_g$ , град	18	17,7	17,1	

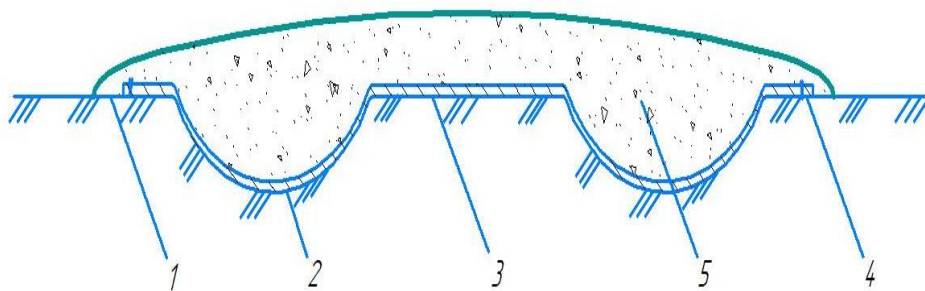
Согласно полученных данных состояние дорожного полотна в процессе строительства можно охарактеризовать как удовлетворительное.

М.Т. Насковец, доц., канд. техн. наук;  
 Н.И. Жарков, ст. науч. сотр., канд. техн. наук;  
 П.Н. Жлобич, студ. (БГТУ, г. Минск);  
 А.А. Борозна, доц., канд. техн. наук  
 (СПбГЛТУ им. Кирова, Российская Федерация)

## ПОВЫШЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ОСНОВАНИЙ ГРУНТОВЫХ ДОРОГ, СОДЕРЖАЩИХ ГЕОПРОСЛОЙКИ

Эффективным средством повышения эксплуатационных качеств автомобильных дорог, снижения объемов земляных работ является применение армирующих прослоек, выполненных из тканых и нетканых синтетических материалов. В теле земляного полотна эти материалы выполняют роль арматуры и воспринимают возникающие в грунте растягивающие напряжения, что приводит к повышению прочности, снижению деформативности конструкции.

Для целей практического применения при строительстве лесных автомобильных дорог наиболее актуальным может быть вариант разработанного способа, который представляют собой способ строительства дорожной одежды однополосных дорог. Согласно этому варианту (рис. 1), технологический процесс устройства дорожной одежды включает выполнение в грунте основания, в процессе движения по дороге с грунтовым покрытием лесовозных транспортных средств, относительно неглубоких колеи на уровне прохождения колесопроводов.



- 1 – грунт основания; 2 – колеи в виде изобар (линий равных напряжений);  
 3 – межколеинное пространство; 4 – геосинтетический материал;  
 5 – слой покрытия

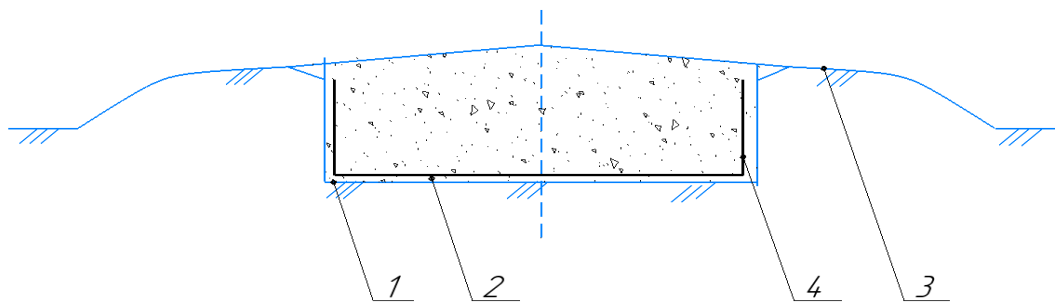
**Рисунок 1 – Вариант конструктивной схемы однополосной дороги:**

После чего часть грунта из межколеинного пространства перемещают в колеи, где производят его уплотнение до придания каждой колее дугообразного очертания, соответствующего линиям равных сжимающих напряжений (изобарам). В случае использования в основании

слабоуплотняемых грунтов, по контуру образованного поперечного сечения основания укладывают нетканый геосинтетический материал, поверх которого производят отсыпку и уплотнение слоя покрытия.

Нашей задачей было повысить работоспособность покрытия и снизить ее материалоемкость. Поставленная задача достигается тем, что в способе устройства дорожной одежды лесной однополосной автомобильной дороги по всей длине дороги в грунтовом основании формируют корыто с образованием по обеим его сторонам буртиков из грунта основания, площадь поперечного сечения которых равна площади  $1/2$  площади корыта, после этого симметрично относительно оси дороги в корыто и по части поверхности буртиков укладывают геосинтетическую прослойку, ширина которой равна ширине корыта и двум его высотам, затем поверх прослойки отсыпают материал слоя покрытия, который прижимает прослойку ко дну корыта и его боковым граням, при этом происходит размещение прослойки по периметру корыта, далее отсыпaeмый материал слоя покрытия распределяют по длине и шире дороги, при чем отсыпaeмый материал слоя покрытия закрывает прослойку и имеет толщину над прослойкой, равную не менее  $1/10$  толщины слоя покрытия и размещается на части поверхности буртиков, после чего слой покрытия уплотняют.

На рисунке 1 изображен общий вид дорожного покрытия однополосной автомобильной дороги



1 – грунтовое снование; 2 – корыто; 3 – буртики;  
4 – геосинтетическая прослойка

**Рисунок 2 – Общий вид дорожного покрытия**

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

## КОМПОНОВОЧНЫЕ СХЕМЫ САМОХОДНЫХ РУБИЛЬНЫХ МАШИН

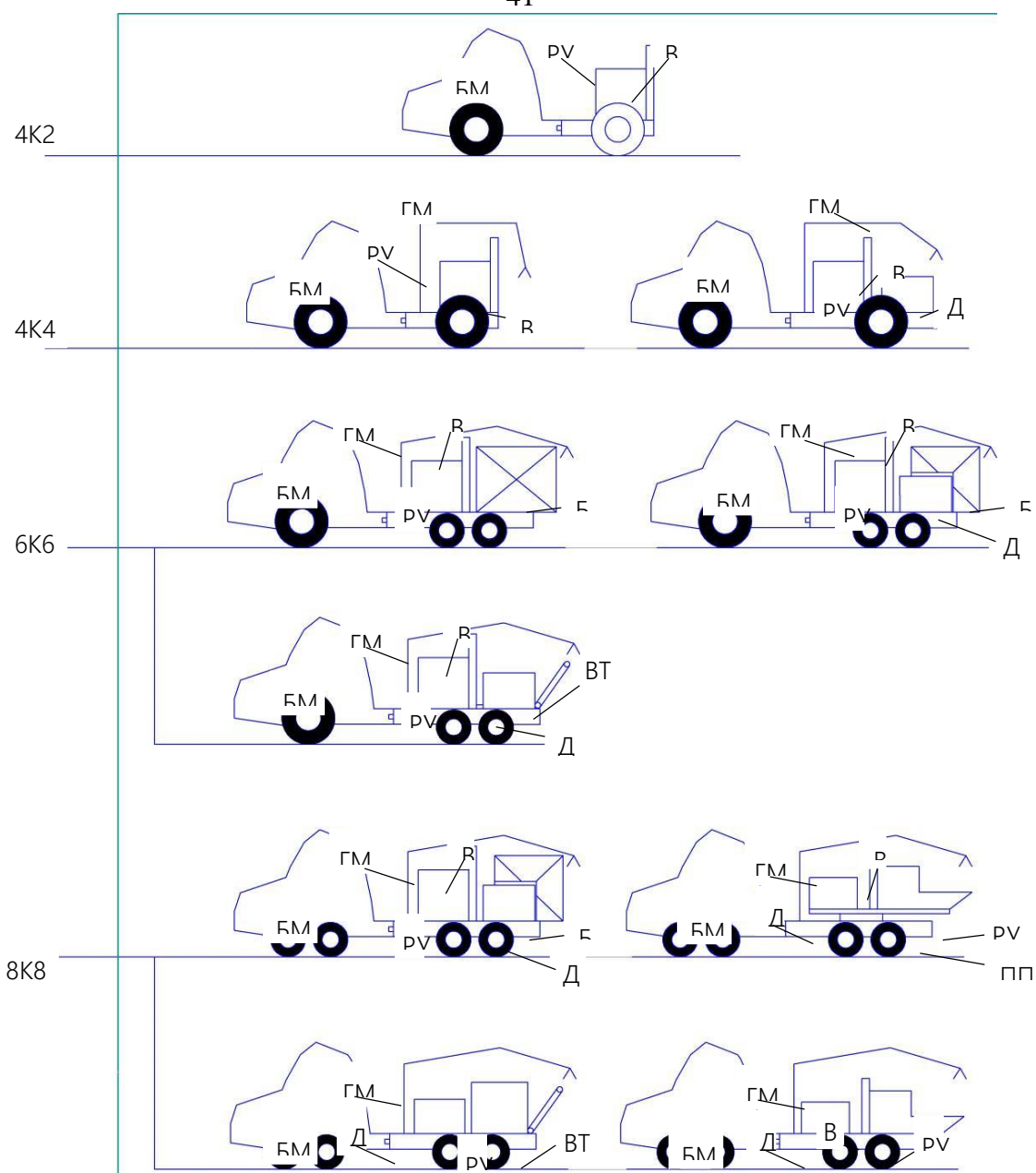
Самоходная рубильная машина на базе форвардера состоит из двух основных модулей – тягового и технологического. Тяговый является энергетическим модулем для базовой машины – БМ (рисунок 1), так как содержит двигатель, который является источником энергии привода колесных движителей. Технологический состоит из технологического оборудования (рубильная установка - РУ, силовая установка - Д, гидроманипулятор - ГМ, выносной транспортер – ВТ, бункер для щепы – Б) (рисунок 1) и задней полурамы базовой машины (форвардер) с элементами трансмиссии и ходовой частью [1].

Самоходное шасси может иметь различные колесные формулы (4К4, 6К6, 8К8) (рисунок 1). Увеличение количества и типоразмера колес ведет к увеличению проходимости, грузоподъемности, а также снижению неблагоприятного воздействия колесных движителей на лесные почвогрунты. Рубильная установка может иметь продольное или поперечное расположение относительно продольной оси базовой машины.

В зависимости от типа платформы рубильные машины могут быть на полноповоротных или неповоротных, а также на съемных или несъемных платформах. С целью увеличения маневренности в технологическом процессе заготовки щепы, а также сокращения времени движения вдоль штабеля древесного сырья рубильные установки устанавливаются на полноповоротные платформы – ПП (рисунок 1). Такая компоновка позволяет вращать рубильную установку вокруг своей оси и устанавливать под необходимым углом к древесному сырью. Съемная платформа, благодаря системе мультилифт, повышает multifunctionality базовой машины, которая в этом случае может иметь несколько назначений: щеповоз, рубильная машина, форвардер, пожарная машина и т. д.

Одним из оптимальных компоновочных решений рубильной машины является размещение бункера-накопителя над автономным двигателем, при этом его конструкция имеет специальную форму с дополнительными отверстиями для охлаждения силовой установки.





**Рисунок 1 – Компонентные схемы самоходных рубильных машин**

Таким образом, комплектация и компоновка технологического оборудования и базовой машины могут быть разнообразными в зависимости от индивидуальных условий их применения.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Германович А. О. Обоснование параметров мобильной рубильной машины на базе multifunctional шасси для производства топливной щепы: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.21.01. Минск, 2015. 26 с.

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ КАНАТНОЙ УСТАНОВКИ МТК-431 И ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА ТТР- 401 ДЛЯ РАЗРАБОТКИ ЗАБОЛОЧЕННОГО ЛЕСФОНДА

Сравнение для обоих вариантов машин выполнялось для сплошных рубок главного пользования на основе следующих показателей: производительность труда; эксплуатационные затраты; капитальные вложения.

Для расчета были приняты общие исходные данные: средний объём хлыста спелых насаждений –  $0,5 \text{ м}^3$ , средняя высота дерева – 20 м, состав насаждений 7Олч1С1Б1Ос, размеры лесосеки –  $200 \times 200 \text{ м}$ , средняя плотность свежесрубленной древесины  $\rho = 800 \text{ кг/м}^3$ , годовой объём труднодоступного лесфонда в Республике Беларусь – 1,3 млн.  $\text{м}^3$ , ширина волока – 5 м.

В данной работе не рассматривается сравнение двух систем машин, так усложнит оценку проектируемого варианта по сравнению с базовым. В данной работе будет рассмотрено сравнение эффективности трелевочного трактора ТТР-401 и канатной установки МТК-431 со следующим циклом работы:

- валка деревьев и обрезка сучьев на пасеке у места повала дерева;
- трелевка хлыстов и штабелёвка их на верхнем складе;
- раскрывка хлыстов на сортименты.

Для рассматриваемой канатной установки МТК-431 принималась параллельная схема расположения волоков. В таком случае на каждом волоке формируется свой погрузочный пункт, на котором производится монтаж установки. Технология работы трелевочного трактора ТТР-401 также включала параллельную схему расположения волоков, однако каждая сформированная пачка перемещалась на один общий погрузочный пункт.

Основное отличие при сравнении обеих систем заключалось введении в формулу для определения времени работы одной списочной машины в год (маш.-смен.) коэффициента применимости –  $K_{\text{прим}}$ . Данный коэффициент принимался ориентировочно, с учетом среднего количества сухих летних и морозных зимних рабочих дней принимаем для ТТР-401  $K_{\text{прим}} = 0,3$ , для канатной установки принимаем  $K_{\text{прим}} = 1$ .

Расчет технико-экономических показателей проводился только для машин на операции трелевка. Рассчитанные показатели сведены в таблицу 1.

**Таблица 1 – Техничко-экономические показатели по вариантам**

Показатели	Варианты	
	базовый	проектируемый
П <sub>ч-д</sub> , м <sup>3</sup> /чел-день	29,1	26,6
К <sub>уд</sub> , руб/м <sup>3</sup>	26,1	15,62
Э <sub>уд</sub> , руб/м <sup>3</sup>	2,07	2,97

Базовый вариант оказался более эффективен по двум из трех показателей (производительность труда и удельные эксплуатационные затраты), проектируемый вариант выгоднее по показателю удельные капиталовложения. Однако производительность труда проектируемого варианта незначительно отличается от базового. Проектируемый вариант является более сложным технологическим процессом, но более совершенным с точки зрения современного развития лесной отрасли. Канатные трелевочные системы оказывают значительно меньшее по интенсивности воздействия и по площади повреждения на лесные почвы. Также практически отсутствует шумовое воздействие на лесную среду, выбросы от сжигания топлива сконцентрированы только на верхнем складе. Требования к сохранению окружающей среды со временем будут только ужесточаться и канатные установки являются одним из перспективных вариантов для реализации этих требований.

Данное сравнение не ставит целью дать окончательный ответ о единственно возможном применении одного из двух рассматриваемых видов трелевочных средств на заболоченных лесосеках. Очевидно, что на каждом предприятии, у которого есть значительная доля заболоченных лесных участков, должны быть и трелевочные тракторы с канатно-чокерной оснасткой и мобильные канатные трелевочные установки. Однако важно понимать, что первый вид техники является временной и вынужденной мерой при выполнении лесосечных работ на слабо заболоченных лесосеках, преимущественно вытянутых вдоль лесной дороги (ширина не более 20-30 м). В то же время мобильные канатные трелевочные установки должны стать именно тем решением, которое позволит значительно снизить сезонную зависимость предприятий и отрасли в целом от природно-климатических условий, повысить экологическую защищенность лесных массивов от воздействия лесной техники.

УДК 630

А.О. Шошин, ассист.; А.В. Дорожко, доц., канд. техн. наук;  
 С.В. Ярмолик, ст. преп.; (БГТУ, г. Минск);  
 В.В. Барыляк, ст. преп. (НЛТУ, г. Львов, Украина);  
 В. Штоллманн, доц. (Технический Университет г. Зволен, Словакия)

## МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ СЕЧЕНИЯ МАЧТЫ МОБИЛЬНОЙ КАНАТНОЙ ТРЕЛЕВОЧНОЙ УСТАНОВКИ НА БАЗЕ ТРАКТОРА

Среди мобильных канатных установок наиболее широкое распространение в лесной промышленности получили установки на базе трактора с мачтой. Наиболее часто используются круглые и квадратные сечения мачты. Однако анализ изученной научной литературы показал, что отсутствует методика определения параметров мачт трелевочных установок.

Была разработана расчетная схема (в работе не приводится), включающая мачту, щит, канаты растяжек. Нагрузка на мачту вызвана действием усилий в несущем и тяговом канатах. Точка контакта щита мачты и почвы представлена в виде связи шарнирно-неподвижная опора (2 связи), 4 каната растяжек заменены связью нить (4 связи). Рассматривая систему как плоскую, можем составить 3 уравнения статики. Тогда система получается 3 раза статически неопределимой. Для нахождения всех неизвестных применяем метод сил. Канонические уравнения метода сил имеют вид:

$$\begin{aligned} \delta_{11} \cdot \bar{x}_1 + \delta_{12} \cdot \bar{x}_2 + \delta_{13} \cdot \bar{x}_3 + \Delta_{1F} &= 0 \\ \delta_{21} \cdot \bar{x}_1 + \delta_{22} \cdot \bar{x}_2 + \delta_{23} \cdot \bar{x}_3 + \Delta_{2F} &= 0, \\ \delta_{31} \cdot \bar{x}_1 + \delta_{32} \cdot \bar{x}_2 + \delta_{33} \cdot \bar{x}_3 + \Delta_{3F} &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

При этом известно, что в соответствии с теоремой Максвелла, побочные перемещения равны:

$$\begin{aligned} \delta_{12} &= \delta_{21} \\ \delta_{23} &= \delta_{32}, \\ \delta_{13} &= \delta_{31} \end{aligned} \quad (2)$$

Исходя из принятой расчетной схемы, мачта испытывает напряжения сжатия и косоугольного изгиба, поэтому расчет ее сечения будем вести на основании полученных из системы уравнений вертикальной реакции  $R_{Az}$  и изгибающих моментов  $M_{Ax}$  и  $M_{Ay}$  по условию прочности, для

определения нормальных напряжений от совместного действия косоугольного изгиба и сжатия:

$$\sigma_{\max} = -\sigma(N_z) + \sigma(M_x) + \sigma(M_y) = -\frac{R_{Az}}{A_m} + \frac{M_{Ax}}{W_x} + \frac{M_{Ay}}{W_y} \leq [\sigma], \quad (3)$$

где  $\sigma_{\max}$ ,  $\sigma(N_z)$ ,  $\sigma(M_x)$ ,  $\sigma(M_y)$ ,  $N_z, R_{Az}, A_m, M_{Ax}, M_{Ay}, W_x, W_y$ ,  $[\sigma]$  – напряжения, МПа: максимальные, сжатия, изгиба относительно оси  $x$ , изгиба относительно оси  $y$ ; нормальная сила, Н; вертикальная реакция в заделке, Н; площадь поперечного сечения мачты, мм<sup>2</sup>; изгибающий момент относительно оси  $x$ , Н·мм<sup>2</sup>; изгибающий момент относительно оси  $y$ , Н·мм<sup>2</sup>; момент сопротивления сечения относительно оси  $x$ , мм<sup>3</sup>; момент сопротивления сечения относительно оси  $y$ , мм<sup>3</sup>; допустимое напряжение, МПа.

\* – нормальная сила  $N_z$  равна по модулю вертикальной реакции в заделке  $R_{Az}$

Для напряжений сжатия условно принимается знак «минус».

Таким образом, определившись с материалом мы заранее можем задать численным значением допустимого напряжения  $[\sigma]$ . Тогда условие прочности примет вид:

$$\sigma_{\max} = -\frac{R_{Az}}{A_m} + \frac{M_{Ax}}{W_x} + \frac{M_{Ay}}{W_y} \leq [\sigma], \quad (4)$$

Чаще всего мачта канатной установки выполнена с квадратным сечением и после ряда преобразований формула для определения параметра мачты примет следующий вид:

$$[\sigma] \cdot b^3 + R_{Az} \cdot b - 6 \cdot M_{Ax} - 6 \cdot M_{Ay} = 0$$

После решения данного кубического уравнения в любом математическом пакете будут получены 2 комплексных корня и 1 действительный. Полученный действительный корень и будет минимальным значением величины параметра  $b$  мачты.

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ДВИЖИТЕЛЯ НА ПОЧВОГРУНТ С УЧЕТОМ РЕОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ**

Как показывает анализ литературных источников, для теоретического рассмотрения процесса деформации почвогрунта при воздействии на него движителей лесных машин могут быть использованы два подхода. Первый подход основан на определении эпюр нормальных и касательных давлений в контакте, их интегрировании и приравнивании силам, приложенным к оси колеса [1], второй – на рассмотрении лишь характерных зон поверхности контакта, параметры которых аналитически выражаются через деформацию шины и грунта [2].

Для более достоверной оценки взаимодействия движителя с опорной поверхностью предложено объединить данные подходы, так как они включают в себя два взаимозависимых показателя, которые характерны при воздействии движителя на почвогрунт: напряжения, которые возникают в почвогрунте в результате действия нормальных и тангенциальных сил от движителя, и деформация, как результат воздействия этих сил. В целом, уже можно сказать, что описание процесса воздействия движителя лесной машины на почвогрунт может осуществляться на основании теорий механики сплошной среды, а описание характера изменения состояния почвогрунта – в соответствии с его реологическими свойствами.

Реологические свойства лесного почвогрунта характеризуют изменения его состояния с течением времени и с учетом оказываемых нагрузок. При этом учитывается как время непосредственного воздействия нагрузки, так и время релаксации. Связные почвогрунты обладают более ярко выраженными реологическими свойствами. Поэтому дальнейшее изучение лесных почв III типа и переувлажненных почв II типа местности с учетом их реологических свойств является обоснованным.

Использование теорий механики сплошной среды позволяет описать процессы деформации материалов с различными характеристиками: упругие, вязкие, пластичные, а также их комбинации. Но сложность описания процессов деформирования лесного почво-

грунта заключается в том, что он является больше дискретной средой, состояние которой зависит от многих факторов: природно-климатических, технологических, конструкторских и др. Это сильно усложняет процесс оценки и прогнозирования возможных последствий воздействия на почвогрунт со стороны движителя лесной машины. Поэтому, несмотря на противоречия, рассмотрение почвогрунта как сплошной среды упрощает математическое описание процессов движения и деформирования, а также позволяет рассматривать напряжения и деформации бесконечно малых объемов, переходя от них к напряженному состоянию всего пласта [3].

Важным с точки зрения описания процессов деформирования связных переувлажненных лесных почв является определение, какими конкретными свойствами они обладают.

На основании проведенных теоретических и экспериментальных исследований были сделаны предположения, что лесные связные почвогрунты обладают упруго-пластично-вязкими свойствами. В результате движения машин по связным грунтам процесс осадки и сдвига происходит быстро, почти без релаксационных явлений. В этом случае восстановление почвы либо не происходит, либо оно частично. В момент деформации почвогрунта происходит его уплотнение до какого-то предельного значения (например, предела текучести). После того, как касательное напряжение превысит это критическое значение, происходит деформация упругого последствия и вязкопластическое течение грунта, что приводит к «выпиранию» почвогрунта из-под движителя.

На основании данного описания процесса деформирования лесного почвогрунта может быть разработана его реологическая модель, в которой сочетались бы фундаментальные свойства упругого, пластичного и вязкого тела.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Агейкин Я.С. Вездеходные колесные и комбинированные движители. – М.: Машиностроение, 1972. – 184 с.
2. Математическая модель процесса образования колеи под воздействием колесных лесных машин / А.Н. Минаев [и др.] // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2013. – № 5. – С. 142–149.
3. Панов, И.М. Физические основы механики почв / И.М. Панов, В.И. Ветехин. – К.: Феникс, 2008. – 266 с.

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

## НАПРАВЛЕНИЕ И ПОТЕНЦИАЛ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОГО СЫРЬЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ЦЕЛЯХ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

За период с 1990 по 2020 годы в Республике Беларусь изменилась структура используемых топливно-энергетических ресурсов, направленных на энергетические нужды. Доминирующим источником энергии стал природный газ, вытеснив в первую очередь мазут. Сократилась доля угля, который используется для получения тепловой энергии. Среди местных видов топлива лидирует топливная древесина в виде топливной щепы, дров, древесных отходов. Баланс использования ВИЭ в Республике Беларусь в 2019 году представлен на рисунке, из которого видно, что основной объем из них занимает древесная биомасса.

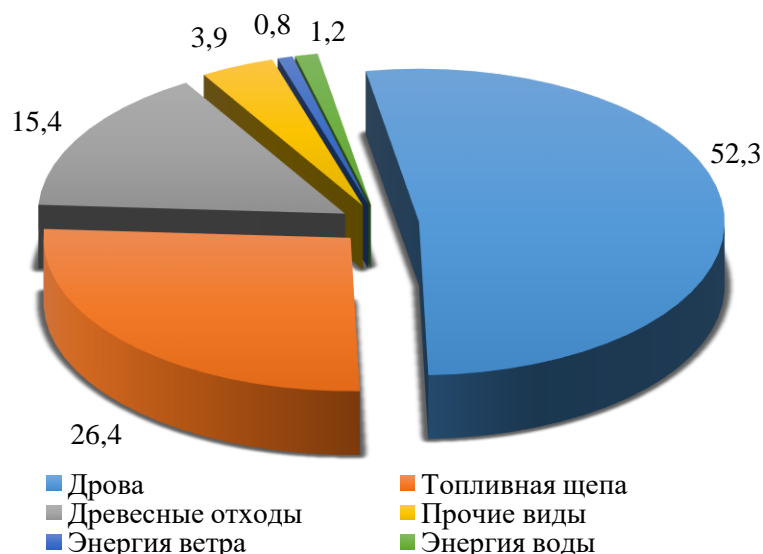


Рисунок – Баланс использования ВИЭ в Республике Беларусь, %

При текущих объемах заготовки древесины технически доступный потенциал древесной биомассы, возможный к использованию в топливно-энергетических целях, составляет около 10 млн м<sup>3</sup>, или 2,5 млн т у.т.

В Беларуси имеются мощности по заготовке более 10 млн. м<sup>3</sup> дровяной древесины и производству более 3 млн м<sup>3</sup> в год древесной



топливной щепы. При этом в лесхозах Министерства лесного хозяйства действует 61 производство по изготовлению древесной топливной щепы суммарной мощностью 1,76 млн м<sup>3</sup> в год и 22 новых экспортноориентированных производства древесного топлива, в том числе:

- 10 производств по изготовлению пеллет и брикета мощностью 21,2 тыс. тонн в год;
- 11 производств по изготовлению дров колотых мощностью 33,6 тыс. м<sup>3</sup> в год.

Значительная часть заготавливаемой дровяной древесины продается населению и организациям в виде дров топливных, оставшаяся часть измельчается в топливную щепу, которая используется для получения тепловой и электрической энергии в котельных и мини-ТЭЦ малых городов и в сельской местности.

В 2019 году в Беларуси заготовлено 9893,7 тыс. м<sup>3</sup> древесного топлива, в том числе в лесах Министерства лесного хозяйства 9401,2 тыс. м<sup>3</sup>. Объем производства топливной щепы составил 2923,0 тыс. м<sup>3</sup>.

В настоящее время в республике производится около 300 тыс. тонн пеллет в год. В 2020–2023 годах в Республике Беларусь в рамках организаций различных форм собственности и ведомственной подчиненности планируется построить и ввести в эксплуатацию пеллетные производства суммарной мощностью около 700 тыс. тонн в год. При благоприятной конъюнктуре рынка для данного вида возобновляемого древесного топлива можно ожидать дальнейшего роста производства. Основным источником сырья используемым для производства древесных топливных гранул является мелкотоварная и низкокачественная древесина, а также отходы лесопильного и деревообрабатывающего производства.

Доля ВИЭ в валовом потреблении топливно-энергетических ресурсов в Республике Беларусь в 2019 году составила 6,7%. В нашей стране ставится задача к 2030 году значительно увеличить долю энергии из возобновляемых источников (ВИЭ) в энергетическом балансе. Для Республики Беларусь, имеющей значительные запасы лесных ресурсов, решение данной задачи в первую очередь возможно за счет вовлечения в топливно-энергетический баланс страны возобновляемых ресурсов древесного топлива.

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

## **ВКЛАД РАЗВИТИЯ ЛЕСОТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ 9.1 ЦЕЛЕЙ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ**

Для достижения устойчивого развития и расширения возможностей населения необходимы инвестиции в инфраструктуру – транспорт, энергоснабжение, информационные технологии [1].

Цель устойчивого развития ЦУР 9 «Создание стойкой инфраструктуры, содействие всеохватной и устойчивой индустриализации и инновациям» направлена на: развитие качественной региональной и трансграничной инфраструктуры; содействие индустриализации, повышению уровня занятости в промышленности и доли промышленного производства в ВВП; модернизацию промышленных предприятий для повышения эффективности использования ресурсов и более широкого применения чистых технологий; активизацию научных исследований и инновационной деятельности [2].

Лесохозяйственная отрасль в стране имеет существенный вклад в достижение ЦУР 9 по ряду причин:

- лесистость страны около 40% и, соответственно, развитие инфраструктуры в лесном хозяйстве затрагивает значительные площади страны;
- лесохозяйственное и лесопромышленное производства относятся к «зеленым отраслям экономики», где широко применяются чистые и экологически безопасные технологии;
- значительная часть лесохозяйственных учреждений и их структурных подразделений находятся в малых городах и сельской местности, что позволяет в большей степени обеспечить содействие всеохватной и устойчивой индустриализации.

Наиболее актуальная задача ЦУР 9, в решение которой лесное хозяйство вносит более существенный вклад – задача 9.1 «Развивать качественную, устойчивую и стойкую инфраструктуру, включая региональную и трансграничную инфраструктуру, в целях поддержки экономического развития и благополучия людей, уделяя особое внимание обеспечению недорогого и равноправного доступа для всех».

Для решения задачи **9.1** на глобальном и национальном уровнях предложены показатели: 9.1.1 «Доля сельского населения, проживающего в пределах 2 км от круглогодичной дороги», 9.1.2 «Объем пассажирских и грузовых перевозок в разбивке по видам транспорта». Дополнительно на национальном уровне введен показатель 9.1.3.1 «Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием» [2].

Связь между деятельностью лесохозяйственной отрасли и решением данной задачи ЦУР заключается в *существенном вкладе лесного хозяйства в строительство и содержание местных дорог, строительство и реконструкцию административных зданий и других объектов лесхозов и лесничеств, обеспечении грузовых перевозок лесопroduкции.*

Лесотранспортная инфраструктура крайне необходима не только для обеспечения доступности лесосырьевых ресурсов, но и для развития различных видов экосистемных услуг (туризма, побочного пользования лесом и др.), а также с целью повышения эффективности лесозащитных мероприятий. Ежегодное строительство Министерством лесного хозяйства более 100 км новых лесохозяйственных дорог (рисунок) позволило повысить доступность лесных массивов и эффективность оказания экосистемных услуг. Однако необходимо дальнейшее увеличение густоты сети дорог в лесном фонде, которая в настоящее время составляет около 0,27 км/км<sup>2</sup>. Для сравнения данный показатель в Латвии составляет 0,9 км/км<sup>2</sup>, в Финляндии 0,9–1,2 км/км<sup>2</sup>. По оценкам специалистов для Республики Беларусь эффективная густота дорог в лесном фонде должна быть около 0,5 км/км<sup>2</sup>.



**Рисунок – Строительство лесохозяйственных дорог в лесном фонде Республики Беларусь, км**

Министерство лесного хозяйства ежегодно инвестирует собственные средства лесохозяйственных учреждений в строительство лесохозяйственных дорог. При этом с 2016 года строительство лесохозяйственных дорог осуществляется только за счет собственных средств лесхозов.

Из приведенного выше анализа можно сделать вывод о **существенном вкладе лесного хозяйства в решение задачи 9.1** и необходимости развития данного направления на национальном и отраслевом уровнях. При этом лесное хозяйство вносит вклад во все показатели задачи:

– 9.1.1 «Доля сельского населения, проживающего в пределах 2 км от круглогодичной дороги». Строительство лесохозяйственных дорог круглогодичного действия позволит не только повысить доступность лесного фонда для лесохозяйственных учреждений, но также повысит благосостояния сельского населения за счет улучшения транспортной инфраструктуры и обеспечения их качественного доступа в леса для туризма, рекреации, пользования полезностями леса и др.;

– 9.1.2 «Объем пассажирских и грузовых перевозок в разбивке по видам транспорта». Лесное хозяйство, осуществляя значительный объем перевозок лесопродукции вносит существенный вклад в общий объем грузовых перевозок;

– 9.1.3.1 «Плотность автомобильных дорог общего пользования с твердым покрытием». Повышение густоты лесотранспортной сети, в том числе при наличии и строительстве дорог с твердым покрытием позволяет также улучшать данный показатель.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Цели в области устойчивого развития [Электронный ресурс] // Веб-сайт ООН URL: <https://www.un.org/sustainabledevelopment/ru/energy/> (дата обращения: 12.12.2019).

2. Показатели достижения Целей устойчивого развития [Электронный ресурс] // URL: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/SDG/Naz\\_perechen\\_pokas\\_SDG/tse1-7/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/SDG/Naz_perechen_pokas_SDG/tse1-7/) (дата обращения: 10.12.2019).

УДК 630\*377.4

А.С. Панкратович, асп.; А.Л. Петкевич, студ. (БГТУ, г. Минск)

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДВОЗКИ СОРТИМЕНТОВ ПУТЕМ РАЦИОНАЛЬНЫХ СПОСОБОВ РАБОТЫ ФОРВАРДЕРА**

В настоящее время в Республике Беларусь порядка 96% лесоматериалов заготавливается по сортиментной технологии.

В условиях Республики Беларусь в большинстве своем сортименты заготавливают либо на лесосеке, либо на верхнем складе.

Одним из важнейших и наиболее ресурсоемких процессов в лесозаготовительном производстве является трелевка (подвозка) лесоматериалов. От того, насколько рационально организован первичный транспорт древесины, во многом зависят показатели деятельности лесозаготовительного предприятия. Причем уже на стадии проектирования технологического процесса необходима оценка эффективности работы трелевочной техники исходя из комплекса факторов: состава парка машин, условий работы, показателей процесса трелевки и др.

Обязательными составляющими процесса трелевки (подвозки) сортиментов являются: движение в порожнем и грузовом направлении, штабелевка, подсортировка, погрузка лесоматериалов и др. Для выполнения данных операций в соответствии с приведенным типом технологического процесса в условиях Республики Беларусь применяются специализированные транспортные средства – форвардеры и прицепные тележки.

Технология работы специализированных и прицепных форвардеров ничем не отличается. После выполнения операций по валке деревьев, обрезке сучьев и раскряжевки хлыстов на сортименты, лесоматериалы складывают в пачки по сортиментам вдоль пасечного трелевочного волока в сфере досягаемости стрелы гидроманипулятора форвардера. Для эффективного использования техники перемещение машины без груза минимизируют.

На общую продолжительность цикла работы форвардера влияют такие факторы как квалификация оператора, средний объем сортимента, грузоподъемность форвардера, качество работы оператора харвестера или вальщика, производящих сортименты на пасеке и т.д.

По результатам исследований влияния данных факторов на производительность работы форвардера, а также оказываемого влияния на

окружающую среду были разработаны некоторые рекомендации по повышению эффективности работы форвардера.

Для разработки рекомендаций было использовано учебное программное приложение Ponsse Forwarder Game, разработанное специалистами компании Ponsse Oyj (Финляндия). Данное ПО предназначено для планирования работы при транспортировке лесоматериалов с лесосеки на погрузочные пункты, полезно на этапе проектирования и организации лесосечных работ, в основном по части выполнения транспортно-переместительных операций, с целью оптимизировать данные операции и обеспечить высокую эффективность всего процесса заготовки древесины. Программное приложение позволяет проектировать различные сценарии для планирования работы форвардера.

В результате анализа данных полученных в приложении Ponsse Forwarder Game для условий Республики Беларусь были получены выводы и сделаны следующие рекомендации:

1. Для обеспечения удовлетворительной экологической ситуации на лесосеке требуется чтобы движение лесных машин осуществлялось только по пасечным и магистральным волокам.

2. При устройстве погрузочного пункта на лесосеке для соблюдения требований по ограничению площади ее технологических элементов пасеки должны иметь ширину не менее 18 м. Однако стоит отметить, что при большом запасе древесины на 1 га может значительно увеличиться плотность почвогрунта в результате большого количества прохода техники.

3. При работе на суглинистых почвах следует вводить дополнительный магистральный волок. При этом погрузочный пункт рекомендуется устраивать не на территории лесосеки, а возле лесохозяйственных дорог.

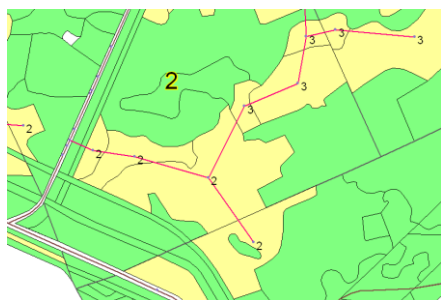
4. Использовать на определенных режимах движения лесотранспортных машин грунтозацепы шин, которые могут производить интенсивное перемешивание растительного слоя с минеральной частью почвы, что плодотворно влияет на возобновление леса.

5. Принятие комплексных мер, которые должны включать в себя не только снижение рейсовой нагрузки и изменения параметров транспортно-технологических элементов лесосеки, но и повышение работоспособности трелевочного волока путем его армирования порубочными остатками, проведение работ при климатически благоприятных условиях и т. д.

## ТРАССИРОВАНИЕ ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ С УЧЕТОМ ИНТЕНСИВНОСТИ РОСТА ЛЕСА НА ОСНОВЕ CREDO-ТЕХНОЛОГИЙ

При проектировании транспортного освоения лесных массивов возникает задача по определению очередности строительства лесных дорог. От правильности ее решения зависит ритмичность работы предприятий, динамика освоения инвестиций и в конечном итоге эффективность лесозаготовительного производства [1, 3].

При решении данной задачи предварительно определено на перспективу множество всех допустимых звеньев сети (конфигурация транспортной сети), в которое включаются как существующие участки лесных автомобильных дорог, так вероятные новые трассы. В специальной цифровой модели местности (рис. 1) определяются точечные и линейные препятствия, площадные объекты, которые затрудняют или вообще исключают расположение по ним лесотранспортных путей (например, особо защитные участки леса, болота, реки и т. д.).



**Рисунок – Трассирование лесных дорог с учетом интенсивности роста леса**

При проектировании схемы транспортного освоения в эксплуатационных лесах следует определить наилучшую с экономической точки зрения совокупность звеньев (конфигурацию) лесотранспортной сети с одновременным обоснованием параметров лесотранспортных путей (структуры). Запас древесины каждого выдела считается сосредоточенным в его центре (центроиды) [1, 3, 5].

### **Исходные данные:**

1. Очертания лесосырьевой базы, ее размеры, рельеф и распределение запасов на ней могут быть любыми.
2. Существующая сеть лесных дорог и дорог общего пользования (макет 13 «Земли линейного протяжения»).
3. Любое количество пересечений транспортных путей с водотоками.
4. Различные параметры дорожных конструкций. Транспортная сеть лесозаготовительного предприятия представляет собой структурное дерево в виде графа  $G_{ЛТС}$  с конечным числом центроидов  $Q_i$  и точек

примыканий к существующей сети  $X_v$ . Данный граф формируется путем построения минимального связующего дерева – дерева Прима, и в последующем введении дополнительных развилок путей – минимального дерева Штейнера. Алгоритм Прима заключается в соединении сетью звеньев  $G_s$ , имеющих минимальную суммарную длину. За основной критерий оптимальности варианта расположения транспортной сети принят минимум затрат на строительство, содержание лесной дороги и вывозку всего сосредоточенного объема древесины [5]:

$$\min_{i,j \in G_s} \Phi(G_s) = \min_{i,j \in G_s} \sum_{ij} C_{ij} \cdot l_{ij}^k = \min_{i,j \in G_s} \sum_{ij} \sum_{t=1}^T \left[ \frac{K_{ij}^k(t) + T_{ij}^k(t) \cdot q_{ij}(t) + I_{ij}^k(t)}{(1 + E_n)^t} \right] \cdot l_{ij}^k,$$

где  $K_{ij}^k(t)$  – стоимость строительства 1 км дороги на участке  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности и  $t$ -й период времени, тыс. руб./км;  $T_{ij}^k(t)$  – текущие транспортные затраты на 1 км дороги  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности и  $t$ -й период времени, тыс. руб./м<sup>3</sup>км;  $q_{ij}(t)$  – объем вывозки древесины из  $i$ -й вершины в  $j$ -ю в  $t$ -й период времени, м<sup>3</sup>;  $I_{ij}^k(t)$  – стоимость искусственного сооружения на дороге  $(i, j)$  в  $k$ -ой области неоднородности и  $t$ -й период времени, тыс. руб.;  $E_n$  – норма дисконты;  $l_{ij}^k$  – протяженность участка  $(i, j)$ , пересекающего  $k$ -ую области неоднородности, км.

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 автомобильных дорог требует определенного архитектурного искусства, которое приходит с опытом и по мере овладения техникой трассирования [2, 4].

Стили трассирования лесных автомобильных дорог в CREDO-технологий: «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 [2].

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 пере-



считываются пикетные положения всех основных точек остальных закруглений – вершин углов, начала и конца кривой, начала и конца переходной кривой.

*Конструктивно «плавная трасса»* состоит из круговых кривых, сопряженных переходными кривыми. Стиль «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.

Все методы построения сопряжений в CREDO дают достаточно информации для анализа и оценки проектного решения по известным правилам эстетических свойств сопряжений.

#### 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. 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.

3. 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.

4. 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.

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.

П. А. Лыщик, проф., канд. техн. наук;  
А. И. Науменко, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **УЛУЧШЕНИЕ СВОЙСТВ МЕСТНЫХ ГРУНТОВ КОМПЛЕКСНЫМ ВЯЖУЩИМ**

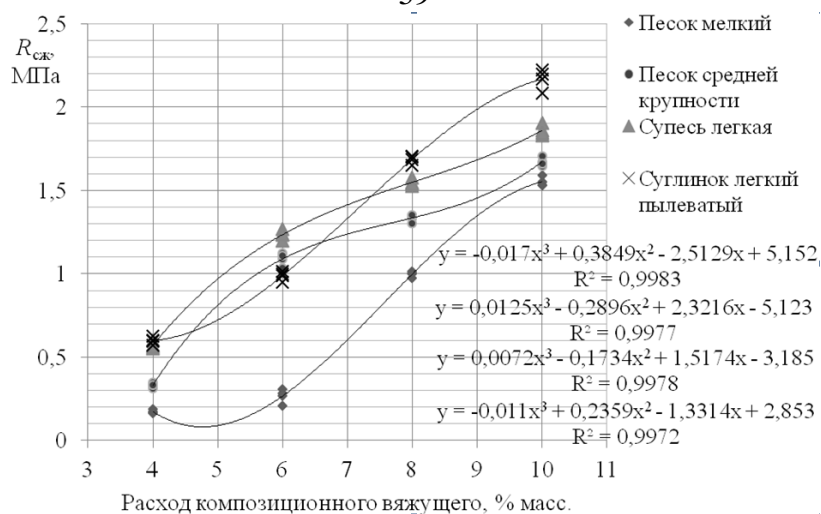
Применение укрепленных грунтов для строительства лесных автомобильных дорог является одним из перспективных направлений решения проблемы дорожного строительства [1, 2].

Местный грунт, укрепленный различными вяжущими реагентами, приобретает водоустойчивость, механическую прочность и может быть использован как полноценный заменитель традиционных каменных дорожно-строительных материалов в лесных районах, где испытывается их острый недостаток.

Разработка практических рекомендаций по укреплению грунтов связана с большим объемом лабораторных исследований для установления оптимальных дозировок вяжущих реагентов, выбора технологических режимов и т. п. Эта работа также связана с изготовлением огромного количества образцов, их испытанием, обработкой и анализом полученных данных [3, 4, 5].

При подборе составов грунтобетонов требовалось установить рациональное количество вводимого композиционного малоцементного вяжущего и выработать оптимальные способы его введения в грунт в зависимости от вида грунта, его физических свойств и необходимых результатов. Подбор составов грунтобетона включает следующие этапы: отбор материалов, определение оптимальной влажности смеси и расчет максимальной плотности образцов; подбор необходимого количества композиционного вяжущего путем приготовления опытных образцов; испытание приготовленных образцов и определение физико-механических показателей укрепленных грунтов при хранении во влажностных условиях; сравнение полученных прочностных показателей с требованиями, предъявляемыми нормативной документацией и выбор оптимальной рецептуры смеси.

Эффективность укрепления местных грунтов минеральными вяжущими в значительной степени зависит от гранулометрического состава укрепляемого грунта. В ходе работы были проведены исследования по изучению влияния добавок композиционных вяжущих (КВ) при укреплении следующих грунтов: песка средней крупности и песка пылеватого, супеси легкой и суглинка легкого пылеватого. На рисунках 1-2 представлены зависимости расхода композиционных вяжущих на предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов.



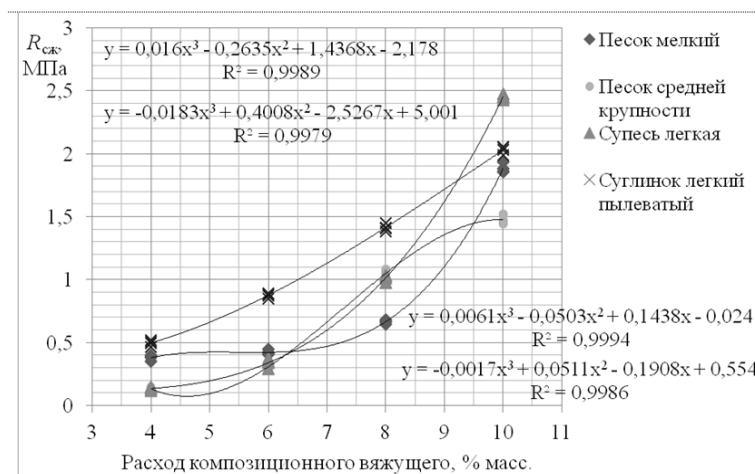
**Рисунок 1 – Влияние расхода КВ № 1 на прочность укрепленного грунта при сжатии**

Из графика на рисунке 1 следует, что предел прочности при сжатии соответствует II и III классу прочности для лесных автомобильных дорог. При укреплении песка пылеватого и песка средней крупности композиционным вяжущим № 1 предел прочности при сжатии водонасыщенных образцов ниже, чем у контрольных, приготовленных на основе портландцемента марки ПЦ 500-Д0, на 22–62%. Отсутствие эффекта укрепления можно объяснить малым содержанием в данных типах грунтов глинистых частиц [1].

При укреплении КВ № 1 супеси легкой и суглинка легкого пылеватого наблюдается тенденция увеличения предела прочности при сжатии. При этом показатели прочности при внесении 10% композиционного вяжущего для супеси отличаются от контрольных образцов всего лишь на 0,8%, а при укреплении суглинка разработанной композицией в количестве 8% от массы грунта существенно увеличивает прочность при сжатии до 35%.

Данное увеличение прочности цементогрунта способствует повышению морозостойкости материала, позволяет сократить расход портландцемента в зависимости от гранулометрического состава грунта на 25–40%, по сравнению с укреплением грунта одним портландцементом [2].

Из графика на рис. 2 видно, что укрепленные грунты имеют показатель прочности II и III класса. Также прослеживается тенденция увеличения предела прочности при сжатии водонасыщенных образцов с увеличением количества глинистых частиц в гранулометрическом составе грунта. При введении добавки золы-уноса в количестве большем, чем 30% от массы портландцемента, снижается предел прочности при сжатии, что негативно сказывается на общей прочности цементогрунта.



**Рисунок 2 – Влияние расхода КВ № 2 на прочность укрепленного грунта при сжатии**

При испытании грунтов, укрепленных композиционными вяжущими, на растяжение при изгибе водонасыщенных образцов показатель прочности составил от 0,3 МПа для песчаных грунтов до 0,89 МПа для суглинистых грунтов, что соответствует I и II классу прочности [5].

#### 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., Игнатенко В.В., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Обоснование структуры и состава дорожной цементогрунтовой смеси на основе математической модели /П.А. Лыщик, Е.И. Игнатенко, В.В. Бавбель, А.И. Науменко // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2015. № 2 (175). С. 39–43.
4. 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.
5. Бавбель Е.И., Науменко А.И. Методика оптимизации дорожных конструкций лесных автомобильных дорог / Е.И. Бавбель, А.И. Науменко // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 107–110.

УДК 630\*383.6:625.711.84

П. А. Лыщик, проф., канд. техн. наук; В.А. Кипра, магистрант;  
Е. И. Бавбель, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **ПРИМЕНЕНИЕ БИТУМНОЙ ЭМУЛЬСИИ ДЛЯ УКРЕПЛЕНИЯ ГРУНТОВ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Эмульсия – неоднородная, термодинамическая неустойчивая система с двумя или несколькими жидкими фазами, представляющими одну постоянную жидкую фазу (дисперсионную среду) и, по меньшей мере, вторую жидкую фазу, рассеянную в первой в форме мелких капелек (дисперсная фаза) [1, 3]. В зависимости от формы, битумные эмульсии классифицируются на прямые и обратные.

Прямые эмульсии – это когда битум в виде мелких капелек (от 1 до 20 мк) находится в водной среде.

Обратная эмульсия – это когда вода в виде мелких капелек находится в битумной среде.

В дорожной практике наибольшее применение находят прямые битумные эмульсии.

В зависимости от требуемых технологических и эксплуатационных свойств связующего материала эмульсии могут быть приготовлены на битумах различной вязкости как с использованием различных добавок (растворители, ПАВ, полимеры), так и без них. При этом в зависимости от назначения и условий применения могут приготавливаться эмульсии с различной скоростью их распада и устойчивостью при транспортировке и хранении.

Относительно низкая вязкость прямых битумных эмульсий, обусловленная наличием водной среды (от 31 до 50%), обеспечивает хорошую способность обработки каменных материалов без их сушки и нагрева. Такие технологические свойства битумных эмульсий обуславливают благоприятное их применение в дорожном строительстве с позиций охраны труда дорожных рабочих и охраны окружающей среды.

В зависимости от применяемых эмульгаторов эмульсии могут быть анионного и катионного видов. При этом за последние годы в мировой практике дорожного строительства производятся и используются главным образом (почти 100%) эмульсии катионного вида, как наиболее универсальные и обеспечивающие достаточную адгезию вяжущего к поверхности минеральных материалов кислой и основной природы.

За более чем 60-летний период производства битумных эмульсий катионного вида за рубежом в совершенстве отработаны различные составы и технологии их применения в дорожном строительстве и налажен промышленный выпуск большого ассортимента эмульгаторов для различных составов эмульсий применительно к их назначению.

Выпускаемые битумные эмульсии соответствуют требованиям СТБ 1245-2015 «Эмульсии битумные дорожные катионные. Технические условия».

Технология устройства основания земляного полотна укрепленного битумной эмульсией аналогична используемой при устройстве покрытий методом смешения органического вяжущего с гравием или щебнем на дороге. Наиболее пригодны для укрепления битумной эмульсией супесчаные грунты, оптимальные грунтовые смеси, пылеватые грунты и легкие суглинки [1, 2, 5]. В III климатической зоне можно использовать и тяжелые суглинки, предварительно улучшенные добавками песка.

Количество вяжущего устанавливают на основании лабораторных испытаний образцов грунта. Обычно для супесей требуется битумной эмульсии 5–8%, для суглинков соответственно 6–12% веса обрабатываемой части грунта. При использовании суглинков к грунтам следует добавлять 2–3% извести.

Лучшее перемешивание местного грунта с вяжущим достигается при использовании дорожной (или болотной) фрезы, хотя можно применять дисковые бороны и грейдеры [4]. При наличии только грейдера требуется очень большое число проходов. Технология устройства покрытия приведена ниже.

1. Земляное полотно профилируют, при необходимости увлажняют и рыхлят грунт на глубину обработки. Если грунт земляного полотна непригоден для укрепления органическими вяжущими, необходимы добавки улучшающего грунта (иногда самосвалами привозят требующийся грунт из ближайших карьеров); для определения его объема следует учитывать коэффициент уплотнения укрепляемого слоя (1,4–1,7). Добавки перемешивают с грунтом земляного полотна за 2–3 прохода фрезы по следу.

2. С помощью фрезы рыхлят и измельчают слой грунта до 18–20 см. На супесчаных грунтах скорость движения фрезы должна быть 0,25–0,3 и на суглинистых 0,1–0,15 км/ч. После измельчения грунта при необходимости вводят известь или раствор хлористого кальция.

3. Дорожная фреза с помощью дозировочно-распределительной системы распределяет органическое вяжущее, при этом всю норму вводят за один проход по полосе обработки. Перемешивание вяжущего с грунтом достигается за 2–3 прохода по одному следу со скоростью 0,3–

0,5 км/ч. Если для перемешивания применяют фрезы без распределительного устройства, дисковые бороны или автогрейдер, то вязущее разливают в несколько приемов с нормой розлива за один прием не более 3–3,5 л/м<sup>2</sup>. При этом после каждого розлива вязущего смесь перемешивают за 1–2 прохода фрезы или за 2–4 прохода других машин. Окончательно смесь перемешивают фрезой (2–3 прохода по следу) или автогрейдером (4–6 проходов). Достаточно перемешанная смесь должна иметь равномерный (коричневый) цвет, хорошо спрессовываться в комок в руке, не пачкая ее. Перемешивать вязущее с грунтом следует при температуре воздуха 15°С и выше.

4. После окончательного перемешивания смеси профилируют дорожные одежды и укатывают слой грунтобитума.

#### 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. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Испытания конструкций дорожных одежд, устроенных на основе арматурного каркаса «георешетка-цементгрунт» / П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель, А.И. Науменко // *Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2017. № 1 (192). С. 89–94.

3. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И., Цвирко М.В. Укрепление дорожных грунтов битумной эмульсией //П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель, А.И. Науменко, М.В.Цвирко // *Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2018. № 2 (210). С. 168–172.

4. Науменко А.И., Бавбель Е.И., Лыщик П.А. Совершенствование конструкций лесных дорог путем применения георешеток и геосеток //А.И. Науменко, Е.И. Бавбель, П.А. Лыщик // *Лесозаготовительное производство: проблемы и решения. Материалы Международной научно-технической конференции*. Белорусский государственный технологический университет. 2017. С. 40–44.

5. Бавбель Е.И., Науменко А.И. Методика оптимизации дорожных конструкций лесных автомобильных дорог / Е.И. Бавбель, А.И. Науменко // *Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов*. 2019. № 1 (216). С. 107–110.

П. А. Лыщик, проф., канд. техн. наук;  
А. И. Науменко, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **КОНСТРУКЦИИ ДОРОЖНЫХ ОДЕЖД ИЗ УКРЕПЛЕННЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ БОЛЬШЕГРУЗНЫХ ЛЕСОВОЗНЫХ АВТОПОЕЗДОВ**

Цель – применения конструктивного слоя из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» – создание усиленного слоя дорожной одежды, имеющего улучшенные характеристики по отношению к слою из заполнителя: повышенную прочность (повышенную сопротивляемость возникающим напряжениям сдвига); повышенную жесткость (модуль упругости слоя повышается по отношению к модулю упругости заполнителя); пониженные температурные деформации при заполнителе, содержащем композиционные вяжущие [1, 2, 5].

Решаемые с помощью разработанной методики задачи [1, 3]: снижение толщин слоев дорожной одежды или повышение прочности дорожной конструкции при сохранении толщин слоев, в частности: улучшение динамических характеристик дорожной конструкции, снижение темпов накопления остаточных деформаций (колееобразования), возникающих за счет деформации самого несущего слоя и нижележащих слоев; создание возможности расширенного применения более жестких заполнителей на основе малоцементного композиционного вяжущего при создании несущего слоя основания.

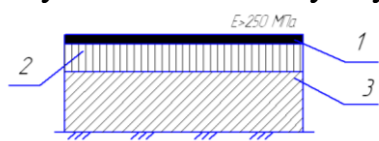
Основные конструктивные решения – устройство слоя покрытия, несущего или дополнительного слоя основания дорожной конструкции представлены на рисунке 1 и в таблице 1.

Конструктивные решения для дорожных конструкций из цементогрунта назначают в соответствии с действующими документами ТКП 500 «Лесохозяйственные дороги. Нормы проектирования и правила устройства», ТКП 45-3.03-112 «Автомобильные дороги. Нежесткие дорожные одежды. Правила проектирования».

Назначение конструктивных решений дорожных одежд с применением конструктивного слоя на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» выполняют в соответствии с ТКП 45-3.03-112. При этом указанные конструктивные композитные слои рассматриваются как сплошные квазиоднородные слои, имеющие повышенные прочность на растяжение при изгибе (за счет прочности и деформативности полос геопластика) и сопротивляемость сдвигу (за счет работы заполнителя в замкнутой ячейке из пластика). В связи с этим расчет такого слоя на растяжение при изгибе и сдвиг не производится, а в качестве его

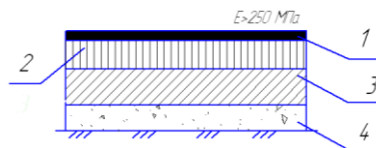


расчетной характеристики при расчете конструкции дорожной одежды используется только модуль упругости.



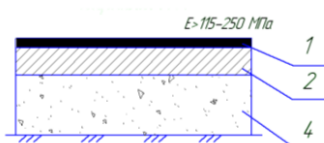
I тип:

1 – слой поверхностной обработки (ПО) на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальтобетона; 3 – основание из цементогрунта



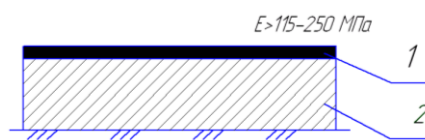
II тип:

1 – слой ПО на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальто-бетона; 3 – основание из цементогрунта; 4 – дренарующий слой из зернистого материала



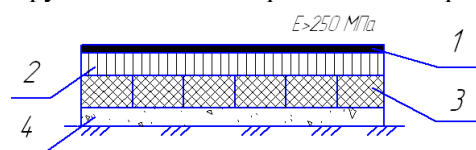
III тип:

1 – слой ПО на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 4 – дренарующий слой из зернистого материала

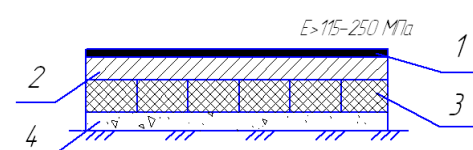


IV тип:

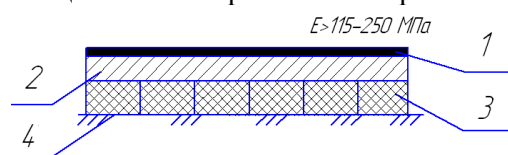
1 – слой ПО на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта

I<sup>AK</sup> тип:

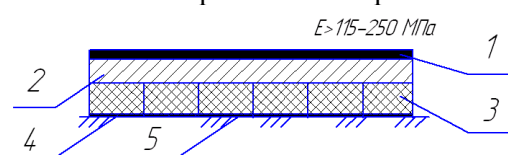
1 – слой ПО на основе щебня и битума; 2 – покрытие из асфальто-бетона; 3 – АК «георешетка-цементогрунт»; 4 – дренарующий слой из зернистого материала

II<sup>AK</sup> тип:

1 – слой ПО на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 3 – АК «георешетка-цементогрунт»; 4 – дренарующий слой из зернистого материала

III<sup>AK</sup> тип:

1 – слой ПО на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 3 – АК «георешетка-цементогрунт»; 4 – грунт земляного полотна

IV<sup>AK</sup> тип:

1 – слой ПО на основе щебня и битума; 2 – покрытие из цементогрунта; 3 – АК «георешетка-цементогрунт»; 4 – дренарующий слой из зернистого материала 5 – геосинтетическая прослойка

**Рисунок 1 – Дорожные конструкции из цементогрунта и арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»**

Таблица 1 - Основные конструктивные решения

Номер слоя	Область применения	Получаемый эффект
I и II тип – 3	Устройство несущего слоя из цементогрунта	Повышение прочности и морозоустойчивости, снижение толщины слоя
I <sup>AK</sup> , II <sup>AK</sup> , III <sup>AK</sup> и IV <sup>AK</sup> тип – 3	Устройство арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»	Повышение прочности, снижение колееобразования при повышении трещиностойкости за счет создания блочной структуры слоя
III, IV, III <sup>AK</sup> и IV <sup>AK</sup> тип - 2	Покрытие из цементогрунта	Повышение прочности, снижение толщины слоя

Расчет армированных нежестких дорожных одежд выполняют с учетом ТКП 500 и ТКП 45-3.03-112 в следующей последовательности: 1) рассчитывается неармированная дорожная одежда (рис. 1); 2) производится ориентировочная оценка снижения толщины несущих слоев основания для дорожных одежд из арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»; 3) при заданных пониженных толщинах дорожных одежд определяются значения расчетного модуля упругости композитного слоя (арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт»); 4) определяются расчетные значения коэффициентов прочности армированной конструкции и сравниваются с требуемыми значениями.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бавбель Е.И., Науменко А.И. Методика оптимизации дорожных конструкций лесных автомобильных дорог / Е.И. Бавбель, А.И. Науменко // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 107–110.
2. Лыщик П.А., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Испытания конструкций дорожных одежд, устроенных на основе арматурного каркаса «георешетка-цементогрунт» / П.А. Лыщик, Е.И. Бавбель, А.И. Науменко // Труды БГТУ. Серия 1: Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. 2017. № 1 (192). С. 89–94.
3. Лыщик П.А., Игнатенко В.В., Бавбель Е.И., Науменко А.И. Обоснование структуры и состава дорожной цементогрунтовой смеси на основе математической модели / П.А. Лыщик, Е.И. В.В. Игнатенко, Бавбель, А.И. Науменко // Труды БГТУ. №2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность. 2015. № 2 (175). С. 39–43.
4. 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.

УДК 630\*383.6:625.711.84

П. А. Лыщик, проф., канд. техн. наук; А. В. Шархунов, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **СПОСОБЫ ОСУШЕНИЯ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА ЛЕСНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ**

Закономерное изменение в течении времени влажности и температуры в приземном слое воздуха и в верхних слоях грунтов называют водно-тепловым режимом.

В грунтах земляного полотна с течением времени устанавливается свой водно-тепловой режим, который в какой-то мере отличается от водно-теплого режима окружающей местности, но подчиняющихся общим закономерностям изменения влажности и температуры, свойственной данной климатической зоне [1-3].

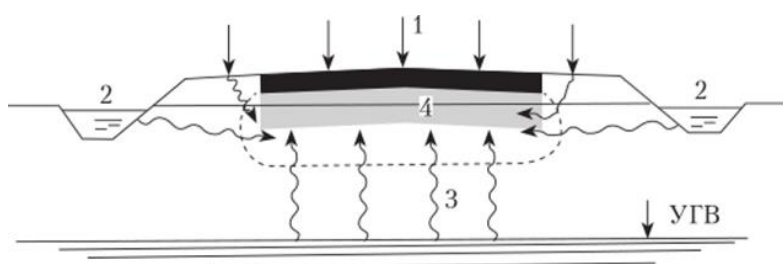
В прилегающем слое к поверхности земляного полотна, местности воздух и верхние слои грунта находятся в тесной взаимосвязи между собой, т. е. тепловой режим местности после устройства земляного полотна несколько изменяется, поэтому дорожники проектируют так дорожную конструкцию и располагают ее на местности, чтобы водно-тепловой режим земляного полотна и местности в наибольшей степени способствовали устойчивости дорожной конструкции и их надежной работе. В связи с этим перед началом строительства дороги по метеорологическим данным района пролегания трассы составляют дорожно-климатический график, на котором показывают ход температуры воздуха, атмосферные осадки, направление ветра, глубина промерзания грунтов, начало весны, осень, зима и др.

Водный режим местности можно характеризовать ее водным балансом, в котором сравнивается приход и расход влаги в тесной увязке с изменением температуры. Основные источники влаги показаны на рис 1, которые могут быть в жидком и твердом виде. В последующем они образуют поверхностный сток, а часть их просачивается в грунт и пополняет запасы грунтовой воды, а часть осадков испаряется.

При соответствующем сочетании температуры и увлажнения грунта испаряется и грунтовая вода. На место испарившейся воды из верхних слоев грунта, вода в пленочном или капиллярном виде поднимается из нижних, более влажных или грунтовых вод и в свою очередь испаряется в атмосферу.

Вода в жидком виде или парообразном состоянии передвигается из мест более теплых в более холодные, и из мест, где упругость пара большая вместе с меньшей упругостью. Вместе с подъемом воды снизу

вверх передвигаться и растворенные в ней соли, которые после испарения воды откладываются в верхних слоях. Изменения температуры воздуха существенно влияют на режим влажности грунта земляного полотна [3]. При повышении температуры повышается возможность испарения влаги из грунта, потому что изменяется дефицит влаги (сухость воздуха увеличивается). При относительной влажности воздуха 100% испарения из грунта не происходит, т. е. насыщение водяными парами воздуха прекращается. Испарение тем больше, чем больше сила ветра, в связи с тем, что при передвижении воздуха насыщение водяными парами приземного слоя не происходит.



- 1 – атмосферные осадки; 2 – поверхностная вода (вода в боковых канавах);  
3 – капиллярная вода от уровня грунтовых вод; 4 – парообразная вода

**Рисунок – Источники увлажнения земляного полотна**

Растительный покров значительно способствует осушению грунта, так как часть влаги забирают растения (транспирация).

В цикле круглогодичного водно-теплового режима выделено пять периодов. В октябре-ноябре месяцах происходит повышение влажности грунта земляного полотна, в связи с уменьшением испарения. В ноябре-январе происходит накопление влаги в рабочем слое земляного полотна, за счет передвижения влаги снизу вверх и боковых комков. В январе-феврале грунт промерзает и происходит некоторое вымерзание влаги (испарение льда) на участках оголенных от снега и при отсутствии достаточных источников поступления влаги снизу и боков. В феврале-апреле промерзание грунта достигает максимальной величины и резкое повышение влажности (водонасыщение с накоплением ледяных линз и образование пучин). В апреле-мае месяцах происходит оттаивание грунта с большим количеством воды и резким падением прочности грунта.

Изменения влажности в грунтовом основании существенно влияет на его прочность.

К специальным мероприятиям по осушению земляного полотна относят конструктивно-технологические решения, предусматривающие:

- ограничение увлажнения от различных источников (повышение требований к обочине и разделительной полосе, увеличение поперечных

уклонов, устройство боковых канав (кюветов), гидроизолирующих и капиллярно-прерывающих прослоек, дренажей глубокого заложения);

- улучшение свойств грунта в верхней части рабочего слоя (улучшение зернового состава грунтов, укрепление их вяжущими);

- отвод воды (устройство прослоек, дренажей);

- устройство лотков, водосборных колодцев и поперечных труб, способствующих отводу поверхностных вод за пределы проезжей части и уменьшающих накопление влаги в рабочем слое земляного полотна;

- устройством кюветов для отвода поверхностных вод от земляного полотна с продольным уклоном не менее 5 ‰ для предупреждения их заиливания и заноса в процессе эксплуатации дороги.

При невозможности поднять бровку земляного полотна до указанной высоты постоянство водного режима верхней части земляного полотна может быть обеспечено устройством внутри него изолирующих прослоек, прерывающих перемещение влаги, при обеспечении отвода воды от дождей и таяния снега. Это создает благоприятный водный режим верхней части земляного полотна, хотя грунт, расположенный ниже прослойки, будет при этом оставаться переувлажненным.

#### 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.

А.А. Борозна, доц. канд. техн. наук;  
В.В. Артемьев, доц. канд. техн. наук;  
Т.В. Якушева, ст. преп.

(СПбГЛТУ имени С. М. Кирова, Российская Федерация)

## **ПОКАЗАТЕЛИ РАЗВИТИЯ ЛЕСНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ С ПОЗИЦИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЛЕСОВ**

Лесные дороги являются основой лесной инфраструктуры. К объектам лесной инфраструктуры, создаваемой в целях использования, охраны, защиты, воспроизводства лесов, в соответствии со статьей 13 Лесного кодекса Российской Федерации, относятся лесные дороги, лесные склады и другие объекты. ГОСТ 17461 - 84 устанавливает, что верхний склад - это лесопромышленный склад, расположенный на лесосеке у лесовозной дороги.

Лесная транспортная инфраструктура является одной из важнейших составных частей лесопромышленного комплекса. Она представляет сеть транспортных путей, соединяющих лесозаготовителей с конечными потребителями лесопроductии. От уровня развития лесной транспортной инфраструктуры во многом зависит состояние и перспективы развития всего лесопромышленного комплекса. Для России состояние лесной транспортной инфраструктуры является определяющим фактором развития лесного хозяйства, его конкурентоспособности на мировых товарных рынках.

В числе важнейших тенденций развития транспорта леса в стране является непрерывное увеличение доли автомобильной вывозки леса и других лесных грузов, а также увеличение расстояния транспортировки лесных грузов. Среднее расстояние вывозки с 1990 г. увеличилось более чем в 1,5 раза, растут объемы транспортировки леса автопоездами в сортиментах с лесосек или промежуточных складов непосредственно потребителям и на нижние лесосклады. Транспортная составляющая в себестоимости продукции лесозаготовительных предприятий довольно высока и достигает 45-50%.

Под экономической доступностью лесных ресурсов (в частности, заготавливаемой древесины) понимается такое качественное и количественное состояние леса (древостоя), а также их территориальное расположение относительно существующих и проектируемых транспортных путей, которое при современном организационно-техническом уровне обеспечивает при лесопользовании уровень нормативной рентабельности. В этом контексте, доступность лесных ресурсов определяется соотношением цены реализации лесопроductии и затратами на заготовку, переработку и доставку до пункта реализации.

В качестве индикаторов, отражающих эффективность мероприятий по развития лесной транспортной инфраструктуры, целесообразно использовать следующие показатели:

- Средневзвешенная себестоимость вывозки древесины (руб./м<sup>3</sup> на 1 км);
- Стоимость строительства 1 км лесных дорог различных типов (категорий) (тыс. руб./км).

Себестоимость вывозки древесины имеет две составляющие: машинную (эксплуатация автотранспортных средств при вывозке древесины) и дорожную (строительство, ремонт и эксплуатация дорог):

$$C = C_m + C_d,$$

где  $C$  – себестоимость вывозки 1 м<sup>3</sup> древесины на 1 км;  $C_m$  и  $C_d$  – соответственно машинная и дорожная составляющие себестоимости вывозки древесины

Машинная составляющая себестоимости вывозки древесины может быть рассчитана по формуле:

$$C_m = \frac{\sum Z}{Q \times L},$$

где  $Z$  – затраты на эксплуатацию автотранспортных средств (руб.);  $Q$  – годовой объем перевозок (м<sup>3</sup>);  $L$  – расстояние вывозки (км).

В состав затрат на эксплуатацию транспортных средств включаются:

- фонд заработной платы водителей транспорта и вспомогательных рабочих, обслуживающих автотранспортные средства (с начислениями на фонд заработной платы);
- затраты на ГСМ;
- затраты на ремонт и обслуживание;
- транспортный налог.

Дорожная составляющая себестоимости вывозки древесины рассчитывается следующим образом:

$$C_d = \frac{(\sum \frac{K_d}{n_d} + \sum \frac{K_p}{m} + \varepsilon)}{Q \times L},$$

где  $K_d$  – первоначальная стоимость дорог различных типов (категорий);  $n_d$  – нормативный срок службы дороги;  $K_p$  – стоимость капитального и среднего ремонтов;  $m$  – периодичность капитального и среднего ремонтов;  $Q$  – годовой объем перевозок (м<sup>3</sup>);  $L$  – расстояние вывозки (км).

Эффективность мероприятий по развития лесной транспортной инфраструктуры можно оценивать на основании динамики изменения следующих показателей:

- увеличение плотности транспортной сети в пределах установленных нормативов;
- увеличение объема перевозок;
- сокращение среднего расстояния вывозки;
- снижение средневзвешенной себестоимости вывозки древесины.

На Европейско-Уральской части основные запасы древесины располагаются в Северо-Западном федеральном округе - 10,0 млрд м<sup>3</sup>. Преобладающая часть этих запасов сосредоточена в спелых и перестойных насаждениях - 6,0 млрд м<sup>3</sup>, в составе которых 4,6 млрд м<sup>3</sup> или 77% лесные насаждения с преобладанием хвойных пород.

В Азиатской части Российской Федерации в Сибирском федеральном округе общий запас древесины составляет более 33,3 млрд м<sup>3</sup>. В спелых и перестойных насаждениях здесь сосредоточено 19,2 млрд м<sup>3</sup> или 57 % общего запаса. В составе запасов спелой и перестойной древесины 81 % составляют хвойные породы.

Большие запасы, в том числе хвойной древесины, имеются в Дальневосточном федеральном округе - 20,6 млрд м<sup>3</sup>, или 57 % которого сосредоточено в спелых и перестойных насаждениях.

Основными лесообразующими породами Европейско-Уральской части являются ель – 32 %, сосна – 28 %, береза – 24 %, осина – 7 %.

Основными лесообразующими породами Азиатской части являются лиственница – 40 %, сосна – 17 %, кедр – 13 %, ель – 7 %, береза – 10 %.

В современных экономических условиях заготовка древесины, в ряде случаев, является рентабельной при запасе древесины более 70-90 м<sup>3</sup>/га, а в удаленных от транспортной сети участках и более (это обуславливается низким качеством транспортной инфраструктуры, устаревшей техникой и технологией, плохой организацией труда, низкоэффективным использованием заготавливаемой древесины и другими вполне реальными причинами).

Использование "деконцентрированного лесосечного фонда" (мелких разрозненных участков спелых лесов, удаленных от транспортных путей, в большинстве своем включаемых в определение расчетной лесосеки) является обычно нерентабельным вне зависимости от запаса древесины на гектар площади.

Кроме того, при определении расчетной лесосеки зачастую не учитывается разная сезонная доступность различных участков леса - разделение лесов на так называемые "зимний" и "летний" лесосечный фонд. Благодаря слабости транспортных путей в таежной зоне и низкой



проходимости большинства видов лесозаготовительной техники многие участки лесосечного фонда оказываются недоступными в летний период. За счет этого нередко лесозаготовители, имеющие достаточное количество делянок, которые могут быть разработаны зимой, летом остаются без доступных сырьевых ресурсов (за счет того, что такой "летний" лесосечный фонд был вырублен в первую очередь).

В России плотность лесных дорог составляет 1,46 км на 1 тыс. га. Для сравнения, в США эта цифра достигает показателя 10 км на 1 тыс. га, а в Германии - 45 км на 1 тыс. га соответственно.

Степень транспортного освоения лесных территорий традиционно оценивается такими показателями как протяженность транспортных путей и плотность (густота) дорожной сети, измеряемой протяженностью дорог на единицу лесной площади.

Один из наиболее важных показателей обеспеченности лесного фонда путями транспорта - плотность сети, показатели которой дают наиболее полное представление об уровне эффективности работы транспорта и всего производства.

К основным показателям, характеризующим использование лесных дорог, относят грузооборот дороги, грузовую работу, средневзвешенное (среднее) расстояние вывозки, эксплуатационную длину дороги, коэффициент пробега лесных грузов на дороге, грузонапряженность пути и интенсивность.

Проблема обеспечения народного хозяйства лесосырьевыми ресурсами - проблема их доступности.

Следует различать три вида доступности:

- транспортную;
- экономическую;
- промышленную (потребительскую).

Транспортная доступность определяется плотностью транзитных путей.

Транзитные пути:

- судоходные реки;
- железные дороги широкой колеи;
- автомобильные дороги федерального и регионального значения.

ния.

Критерий транспортной доступности - расстояние до транзитных путей, при котором обеспечивается доходность низкобонитетных насаждений.

Транспортная инфраструктура - это важнейший элемент хозяйственного освоения территорий, богатых ресурсами. Чем выше плотность железных и автомобильных дорог общего пользования в сочетании с водными путями, тем короче расстояние вывозки по лесовозным дорогам, тем эффективнее ресурсы, выше их доходность. Предельное расстояние вывозки по лесовозным дорогам 30-50 км. Дальше ресурсы становятся экономически не доступными.

Многолесные районы, как правило, отличаются низкой плотностью населения и соответственно не имеют сегодня развитой транспортной инфраструктуры (железных дорог, автомобильных дорог федерального и регионального значения). Но без такой инфраструктуры невозможно эффективно осваивать лесные ресурсы - поддерживать цены на круглый лес на уровне, обеспечивающем конкурентоспособность отечественной деревообработки. При развитой транспортной инфраструктуре может сокращаться общее расстояние от лесосек до потребителя, но главное - существенно сокращается расстояние вывозки по лесовозным дорогам (снижается стоимость заготовки древесины), вследствие чего снижаются суммарные транспортные расходы. Эффект: сдерживается рост потребительских цен на круглый лес при устойчивой рентабельности лесозаготовки.

Одной из насущных ключевых отраслевых проблем - экономическая эффективность. Вопрос не в том, строить или не строить лесовозные дороги, а какие дороги строить. Лесовозные дороги с дорожной одеждой из каменных материалов (с хорошо подготовленным земляным полотном - с кюветами и водоотводными канавами, хорошо уплотненной песчаной подушкой) работают устойчиво в течение всего года, служат долго (при соответствующем содержании и текущих ремонтах). Сеть постоянных лесовозных дорог необходимое условие для перехода на интенсивное воспроизводство лесов. Но стоимость таких дорог существенно выше грунтовых или грунтолежневых, не говоря о зимниках.

Для определения экономической целесообразности строительства лесовозных дорог с покрытиями из каменных материалов следует сопоставить дополнительные удельные капиталовложения с экономией текущих производственных затрат. Эта экономия достигается не только на транспортных операциях. Хорошие дороги обеспечивают ритмичную работу всех звеньев лесозаготовительного производства в течение года. Это позволяет в максимальной степени использовать основные фонды и трудовые ресурсы, поднять уровень организации всего

лесозаготовительного производства в целом. В результате себестоимость заготовки древесины снижается на 20-80 %.

Окупаемость вложений в дорожные покрытия всецело зависит от протяженности дорог, приходящуюся на одну очередь транспортного освоения лесного массива. Эта протяженность минимальна при пионерном освоении лесных массивов с преобладанием спелых и перестойных насаждений. Экономически доступные древесные запасы размещены на территории такого массива компактно, равномерно, что существенно снижает величину инвестиционных капиталовложений. Их окупаемость в зависимости от стоимости 1-го километра дорог может не превышать 1-2-х лет (при годовом грузообороте не менее 100 тыс. м<sup>3</sup>). Если лесной массив продолжительное время осваивался на основе временных дорог, то положение принципиально меняется. Чтобы перейти на постоянные дороги (без чего невозможно стабилизировать работу сырьевой отрасли лесопромышленного комплекса, внедрять интенсивные системы воспроизводства лесов) требуются большие единовременные вложения. Срок окупаемости дорожных инвестиций в этом случае существенно увеличивается.

Имеющаяся в данный момент транспортная инфраструктура не позволяет обеспечить существенный рост заготовки древесины. Решение задачи существенного увеличения объемов лесозаготовительных работ должно сопровождаться скоординированными усилиями государства и лесозаготовительных компаний по транспортному освоению лесного фонда, направленными на реконструкцию существующих дорог с целью увеличения их несущей и пропускной способности; на строительство новых дорог и дорожных сооружений в малоосвоенные лесные массивы.

Эффективность инвестиций в строительство новых транспортных артерий может оцениваться по приросту доходности лесных ресурсов. Предварительные исследования показывают, что уплотнение сети транзитных путей в богатых лесом регионах приводит к увеличению доходности лесных ресурсов на 30-50 %. Эффективность инвестиций в развитие транспортной инфраструктуры региона повышается, если на его территории имеются, наряду с лесными, другие природные ресурсы (включая земли сельскохозяйственного назначения).

Внутренняя лесная политика России до настоящего времени находится под прессом гигантских размеров территории, поскольку отсутствие транспортной инфраструктуры на большей части лесного фонда определяет экономику лесозаготовок и вывозки древесного сырья. До сих пор зимой в качестве дорог используются многочисленные

реки и водоемы, причем зимняя вывозка заготовленной древесины доминирует (более 60 % объема всей вывозки).

Органам государственного управления лесным хозяйством надо приступить к решению таких задач, как достижение общегосударственного, общенационального согласия в вопросах поддержания сохранности и жизнеспособности лесных экосистем.

Мировой опыт показывает, что без мощного и эффективного лесопромышленного комплекса не удастся успешно развивать лесной хозяйство и обеспечивать устойчивое управление лесами. Это целиком и полностью относится и к России.

Экономическую активность в лесном хозяйстве нужно направить на обеспечение экологически безопасного взаимодействия лесной промышленности и лесных экосистем, на благополучии которых собственно и базируется благополучие всего лесного сектора экономики. Устойчивое управление лесным хозяйством напрямую зависит от продуктивности лесов.

В среднесрочной перспективе основным источником инвестиций в лесной комплекс останутся средства, привлекаемые непосредственно лесопромышленными компаниями. На эффективность инвестиций со стороны межотраслевого российского капитала можно рассчитывать только после того, как бизнес крупнейших корпораций отрасли станет прозрачным и понятным для инвестора.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лесной кодекс Российской Федерации (с изменениями на 22 декабря 2020 года);
2. Основы государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденные распоряжением Правительства Российской Федерации от 26 сентября 2013 года № 1724-р;
3. Государственной программе Российской Федерации от 15 апреля 2014 года № 318 «Развитие лесного хозяйства» (с изменениями на 31 марта 2020 года);
4. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года, утвержденной Распоряжением Правительства Российской Федерации от 20 сентября 2018 года № 1989-р;
5. Критерии оценки эффективности деятельности органов государственной власти субъектов Российской Федерации по осуществлению переданных полномочий Российской Федерации в области лесных

отношений", утвержденных постановлением Правительства РФ от 06 марта 2012 № 194 (ред. от 23.01.2014);

6. Пучков, В.В. Стратегическое планирование региональных лесопромышленных комплексов : автореф. дис. ... д-ра экон. наук / Пучков Валерий Валерьевич. – СПб., 2010. – 43 с.

7. Каракчиева, И.В. Рациональное лесопользование (проблемы, особенности, перспективы) / И.В. Каракчиева // Вестник Московского государственного университета леса – Лесной вестник. – 2011. – № 7. – С. 141–147.

8. Лесной потенциал России и его развитие // Лесная промышленность / Wood-prom. – Электрон. дан. – Режим доступа: <http://wood-prom.ru/analitika/lesnoy-potentsial-rossii-i-ego-razvitie>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус. – Дата обращения: 29.11.2020.

УДК 630\*377.4

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)

## **АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЛАДКОГО КОЛЕСА С ДВУХСЛОЙНЫМ ОСНОВАНИЕМ**

При взаимодействии пневматического колеса с почвогрунтом происходит взаимная деформация контактирующих тел[1]. В результате проведенных исследований получено решение, позволяющее определять величину и характер распределения напряжений, а также момент сопротивления качению колеса и его зависимость от свойств взаимодействующих тел.

Исходные данные:

$R_k$  – радиус колеса;

$B$  – половина ширины колеса;

$R(y) = R_k - \alpha y^4$  – уравнение профиля шины;  $\alpha = 0,00000077$ ;

$E$  – модуль деформации материала первого слоя;

$E^*$  – модуль деформации материала второго слоя;

$\sigma$  – Коэффициент поперечной деформации;

$\lambda, \mu$  – коэффициенты Ляме первого слоя;

$\lambda^*, \mu^*$  – коэффициенты Ляме второго слоя;

$P_w$  – давление воздуха в шине;

$c$  – коэффициент податливости шины;

$H_0$  – глубина погружения колеса в почву;

$G$  – нагрузка на колесо;

$M_f$  – момент сопротивления качению колеса;

$h$  – толщина первого слоя;

$z, H$  – периоды изменения координат  $x$  и  $y$ .

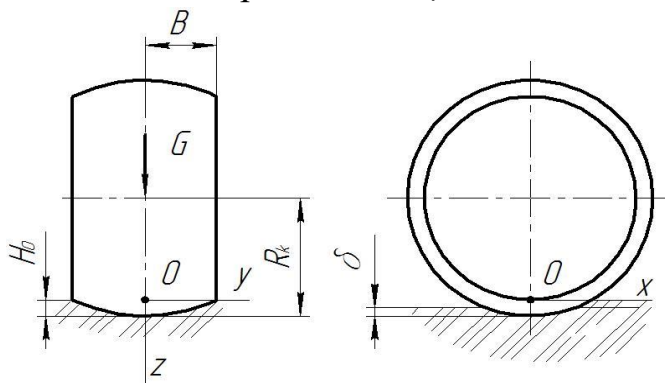


Рисунок 1 – Расчетная схема

1. Определить постоянные коэффициенты и периоды изменения координат  $x$  и  $y$ :  $z = 4R_k$ ;  $H = 4B$

$$\lambda = \frac{E\sigma}{(1+\sigma)(1-\sigma)}; \lambda^* = \frac{E^*\sigma^*}{(1+\sigma^*)(1-\sigma^*)}; \mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}; \mu^* = \frac{E^*}{2(1+\sigma^*)};$$

$$k = \frac{\lambda}{\mu}, k^* = \frac{\lambda^*}{\mu^*}; A = -\frac{k+1}{k+3}, A^* = -\frac{k^*+1}{k^*+3}.$$

2. Определить вид функции  $f(x, y)$  и абсциссы границ пятна контакта  $x_1(y)$ ,  $x_2(y)$

$$f(x, y) = H_0 - R_k + \sqrt{(R_k - \alpha y^4)^2 - x^2}$$

$$x_1(y) = -\sqrt{2(R_k - \alpha y^4)(H_0 - \alpha y^4)\delta - (H_0 - \alpha y^4)^2\delta^2}$$

$$x_2(y) = \sqrt{(R_k - \alpha y^4)^2 - (R_k - H_0)^2}$$

3. Определить коэффициенты разложения в ряд функции  $f(x, y)$

$$a_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{x_1(y)-B}^{x_2(y)} \int_{-B}^B f(x, y) c_k(x) dx \cdot c_i(y) dy;$$

$$b_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{x_1(y)-B}^{x_2(y)} \int_{-B}^B f(x, y) c_k(x) dx \cdot s_i(y) dy;$$

$$\alpha_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{x_1(y)-B}^{x_2(y)} \int_{-B}^B f(x, y) c_i(x) dx \cdot s_k(y) dy;$$

$$\beta_{ki} = \frac{1}{zH} \int_{x_1(y)-B}^{x_2(y)} \int_{-B}^B f(x, y) s_i(x) dx \cdot s_k(y) dy.$$

4. Определить коэффициенты разложения в ряд постоянной

$$M = \frac{a_{00}}{4} + cP_w$$

$$\delta_{ki} = \frac{2M}{zH} \int_{-B}^B \left[ \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} c_k(x) dx \right] c_i(y) dy, \quad \gamma_{ki} = \frac{2M}{zH} \int_{-B}^B \left[ \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} c_k(x) dx \right] s_i(y) dy,$$

$$\varepsilon_{ki} = \frac{2M}{zH} \int_{-B}^B \left[ \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} s_k(x) dx \right] c_i(y) dy, \quad \mu_{ki} = \frac{2M}{zH} \int_{-B}^B \left[ \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} s_k(x) dx \right] s_i(y) dy.$$

5. Определить коэффициенты разложения в ряд функции  $\varphi_3(x, y, z)$

$$A_{0i} = \frac{a_{0i} + \delta_{0i}}{2[1 + Ne_i(h) + \frac{ci\pi}{H}(1+A)(\lambda + 2\mu)][1 + Ne_i(h)]},$$

$$B_{0i} = \frac{b_{0i} + \gamma_{0i}}{2[1 + Ne_i(h) + \frac{ci\pi}{H}(1+A)(\lambda + 2\mu)][1 + Ne_i(h)]},$$

$$A_{ki} = \frac{a_{ki} + \delta_{ki}}{[1 + Ne_i(h) + c\pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}}(1+A)(\lambda + 2\mu)][1 + Ne(h)]},$$

$$B_{ki} = \frac{\beta_{ki} + \gamma_{ki}}{[1 + Ne_i(h) + c\pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}}(1+A)(\lambda + 2\mu)][1 + Ne(h)]},$$

$$C_{ki} = \frac{\alpha_{ki} + \varepsilon_{ki}}{[1 + Ne_i(h) + c\pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}}(1+A)(\lambda + 2\mu)][1 + Ne(h)]},$$

$$C_{k0} = \frac{\alpha_{k0} + \varepsilon_{k0}}{2[1 + Ne_k(h) + \frac{ck\pi}{z}(1+A)(\lambda + 2\mu)][1 + Ne_k(h)]}.$$

6. Определить функцию  $\varphi_3(x, y, 0)$  и при  $z=0$  построить форму поверхности контакта

$$\begin{aligned} \varphi_3(x, y, 0) = & \sum_{i=1}^{10} [A_{0i}c_i(y) + B_{0i}s_i(y)]e_i(z) + \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} [A_{ki}c_k(x)c_i(y) + B_{ki}c_k(x)s_i(y)]e(z) \\ & + \sum_{k=1}^{10} [c_{k0}s_k(x) + D_{k0}c_k(x)]e_k(z) + \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} [c_{ki}c_i(y)s_k(x) + D_{ki}s_i(y)s_k(x)]e(z) \end{aligned}$$

7. Определить коэффициенты разложения в ряд  $P_{zz}$

$$P_{1i} = A_{0i} \frac{i\pi}{H} (1+A)(\lambda+2\mu); \quad P_{2i} = B_{0i} \frac{i\pi}{H} (1+A)(\lambda+2\mu).$$

$$Q_{1ik} = \pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}} (1+A)(\lambda+2\mu) A_{ki};$$

$$Q_{2ik} = \pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}} (1+A)(\lambda+2\mu) B_{ki}.$$

8. Определить давление в контакте  $P_{zz_0}$

$$\begin{aligned} P_{zz_0} = & - \sum_{i=1}^{10} [P_{1i}c_i(y) + P_{2i}s_i(y)] - \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} [Q_{1ik}c_k(x)c_i(y) + Q_{2ik}c_k(x)s_i(y)] \\ & - \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} [E_{1ik}s_k(x)c_i(y) + E_{2ik}s_k(x)s_i(y)] - \sum_{k=1}^{10} [F_{1k}c_k(x) + F_{2k}s_k(x)] \end{aligned}$$

9. Определить нагрузку на колесо  $G$  и момент сопротивления качению  $M_f$

$$G = \iint_{(F)} P_{zz_0} dF, \quad M_f = \iint_{(F)} P_{zz_0} x dF$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Золотаревская Д. И. Зависимость между сжимающими напряжениями и осадкой почв // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1980, № 2, с. 30–32.



УДК 630\*377.4

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)

## АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ГЛАДКОГО, ПНЕВМАТИЧЕСКОГО КОЛЕСА С БЕСКОНЕЧНЫМ ЛИНЕЙНО-ДЕФОРМИРУЕМЫМ ПОЛУПРОСТРАНСТВОМ.

Для учета изменения сопротивления грунтовых оснований по мере деформирования пользуются расчетными моделями, схематизирующими зависимость между нагрузкой на грунтовый массив и его осадкой. Наибольшее распространение имеет модель линейно-деформируемого полупространства [1]. Грунт рассматривается как сплошное однородное линейно-деформируемое тело, бесконечное вглубь, в стороны и ограниченное сверху плоскостью.

Исходные данные:

$R_k$  – радиус колеса;

$B$  – половина ширины колеса;

$R(y) = R_k - \alpha y^4$  – уравнение профиля шины;

$E$  – модуль деформации почвы;

$\sigma$  – коэффициент поперечной деформации;

$\lambda = \frac{E\sigma}{(1+\sigma)(1-\sigma)}$ ,  $\mu = \frac{E}{2(1+\sigma)}$  Коэффициенты Ляме;

$P_w$  – давление воздуха в шине;

$C$  – коэффициент податливости шины;

$H_0$  – глубина погружения колеса в почву;

$G$  – нагрузка на колесо;

$M_f$  – Момент сопротивления качению колеса;

$\delta$  – коэффициент упругого восстановления почвы

$P_k$  – касательная сила тяги

$z, H$  – периоды изменения координат  $x$  и  $y$ ,  $z = 4R_k$ ;  $H = 4B$ ;

$\beta$  – коэффициент пропорциональности.

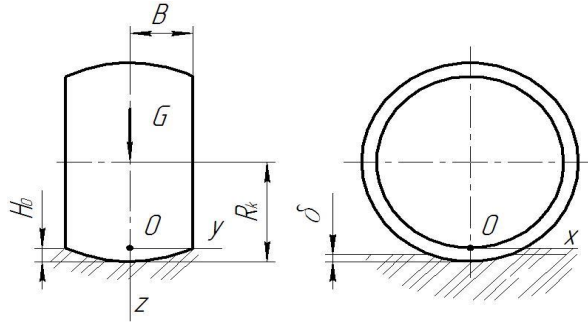


Рисунок 1 – Расчетная схема

1. Определить абсциссы границ пятна контакта

$$x_1(y) = -\sqrt{2(R_k - \alpha y^4)(H_0 - \alpha y^4)\delta - (H_0 - \alpha y^4)^2 \delta^2},$$

$$x_2(y) = \sqrt{(R_k - \alpha y^4)^2 - (R_k - H_0)^2}$$

2. Определить  $a_{ki}$ ,  $\alpha_{ki}$ ,  $b_{ki}$  и  $\beta_{ki}$

$$a_{ki} = \frac{2}{zH} \int_0^B \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} f(x, y) c_k(x) dx] c_i(y) dy,$$

$$\alpha_{ki} = \frac{2}{zH} \int_0^B \int_{x_1(y)}^{x_2(y)} f(x, y) s_k(x) dx] c_i(y) dy.$$

Где  $f(x) = H_0 - R_k + \sqrt{(R_k - \alpha y^4)^2 - x^2}$ ,  $b_{ki} = \beta_{ki} = 0$

$c_k(x) = \cos(\frac{k\pi x}{z})$ ;  $c_i(y) = \cos(\frac{i\pi y}{H})$ ;  $s_k(x) = \sin(\frac{k\pi x}{2})$

3. Определить  $M = \frac{a_{00}}{4} + cP_w$

4. Определить  $A_{ki}$ ;  $c_{ki}$ ;  $\delta_{0i}$ ;  $\varepsilon_{0i}$ ;  $\alpha_{0i}$  и  $A$ .

$$A_{ki} = \frac{(\delta_{ki} + a_{ki})(1 + \pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}} nc + \frac{k\pi}{z} mc(\alpha_{ki} + \varepsilon_{ki}))}{(1 + \pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}})^2 + \frac{k^2 \pi^2}{z^2} m^2 c^2 \beta}$$

$$c_{ki} = \frac{(1 + \pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}} nc)(\alpha_{ki} + \varepsilon_{ki}) - (\delta_{ki} + a_{ki}) \frac{k\pi}{z} \beta mc}{(1 + \pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}} nc)^2 + \frac{k^2 \pi^2}{z^2} m^2 c^2 \beta}$$

$$m = (1 + A) + 2\mu A, \quad m = (1 + A)(\lambda + 2\mu), \quad A = \frac{2(\lambda + 2\mu)}{k + 3}$$

5. Определить функцию деформации  $\varphi_3(x, y, 0)$ .

$$\varphi_3(x, y, 0) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{10} A_{0i} c_i(y) + \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} A_{ki} c_k(x) c_i(y) + \frac{1}{2} \sum_{k=1}^{10} c_{k0} s_k(x) + \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} c_{ki} s_k(x) c_i(y)$$

6. Определить коэффициенты  $f_{ki}$ ,  $\lambda_k$ ,  $m_k$ ,  $n_k$ ,  $\varepsilon_i$

$$f_{ki} = A\beta \frac{k^2 \pi}{z^2 \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}}} - \beta \pi \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}}, \quad \lambda_k = (1 + A) \frac{k\pi}{2},$$

$$m_k = \frac{k\pi}{z} - \beta c_{k0} (A - 1)$$

$$n_k = \frac{k\pi}{z} (1 + A) c_{k0}, \quad \varepsilon_i = -\frac{\beta i \pi}{H} A_{0i}$$

7. Определить коэффициенты  $M_{ki}$ ,  $E_{ki}$

$$M_{ki} = A_{ki} f_{ki} + c_{ki} \lambda_k, \quad E_{ki} = c_{ki} f_{ki} - A_{ki} \lambda_k$$

8. Определить касательное напряжение  $P_{zx_0}$  в каждом центре тяжести

$$P_{zx_0} = \mu \left[ \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} M_{ki} c_k(x) c_i(y) + \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} E_{ki} s_k(x) c_i(y) + \sum_{k=1}^{10} m_k c_k(x) + \sum_{k=1}^{10} \varepsilon_i c_i(y) \right]$$

9. Определить касательную силу тяги  $P_k$

$$P_k = \int \int_{(F)} P_{zx_0} dF$$

10. Определить давление  $P_{zz_0}$  в каждом центре тяжести

$$P_{zz_0} = -A \frac{\pi}{2z} \sum_{k=1}^{10} k \varepsilon_{k0} c_{k0} c_k(x) - A \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}} \varepsilon_{ki} c_k(x) c_i(y) -$$

$$A \pi \sum_{k=1}^{10} \sum_{i=1}^{10} \sqrt{\frac{k^2}{z^2} + \frac{i^2}{H^2}} \delta_{ki} c_i(x) s_k(x) - A \sum_{k=1}^{10} \frac{k\pi}{z} \delta_{k0} s_k(x)$$

11. Определить нагрузку на колесо  $G$  и момент сопротивления качению  $M_f$

$$G = \int \int_{(F)} P_{zz_0} dF, \quad M_f = \int \int_{(F)} x P_{zz_0} dF$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Бабков В. Ф., Безрук В. М. Основы грунтоведения и механика грунтов. М.: Высшая школа, 1976. 325 с.

УДК 630\*377.4

С. Е. Арико, доц., канд. техн. наук;  
В. С. Исаченков, ст. преп.; В. А. Бобрович, доц., канд. техн. наук;  
А. А. Гарабажиу, доц., канд. техн. наук; А. А. Беляков, студ.  
К. С. Герцмавич, студ. (БГТУ, г. Минск)

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА ТТР-401 В НУОЛХ

Для Республики Беларусь в настоящее время значительная доля древесного сырья заготавливается по хлыстовой технологии трелевки, которая имеет ряд проблемных моментов, в том числе преодоление участков трелевочного и магистрального волоков со слабой несущей способностью грунтов.



Рисунок 1 –Трелевочный трактор ТТР-401

Решение этой задачи видится необходимостью в оснащении колесные трелевочные машины универсальным технологическим оборудованием, которое сочетала бы в себе возможность как навесного, так и прицепного варианта. Для прицепного варианта технологического оборудования наиболее рациональной и простой с точки зрения конструкции является опорная система в виде одноосной тележки.

Подобное сочетание навесного и прицепного вариантов технологического оборудования позволит перераспределить нагрузки и крутящие моменты на полуосях базовой машины в момент буксования, увеличить проходимость, снизить затраты времени, тем самым увеличить производительность.

Для уточнения оптимального состава технологического оборудования необходимо проведение экспериментальных исследований.

**Постановка задачи.** Получение результатов экспериментальных исследований колесной трелевочной машины ТТР-401 для обоснования весовых параметров математической модели движения колесной трелевочной машины при работе на грунтах со слабой несущей способностью. **Основная часть.** Поставленная задача была решена при проведении экспериментальных исследований ТТР-401 на базе трактора МТЗ-82.1 в Негорельском УОЛХ УО БГТУ (рисунок 1).

В качестве измерительной аппаратуры использовались восьмиканальный многофункциональный измерительный усилитель Spider 8, персонального компьютер и тензометрические датчики вертикальных нагрузок УД-1 (рисунок 2).



а

б

а – восьмиканальный многофункциональный измерительный усилитель Spider 8 и персональный компьютер; б – тензометрические датчики вертикальных нагрузок УД-1

**Рисунок 2 – Измерительная аппаратура**

В результате экспериментальных исследований были получены весовые параметры трелевочного оборудования, переднего и заднего мостов указанной машины при транспортировке пачек деревьев объемом  $0,6 \text{ м}^3$ ,  $1,0 \text{ м}^3$ ,  $1,4 \text{ м}^3$ ,  $1,8 \text{ м}^3$ , а также не нагруженного трактора (рисунок 3).

Уточнение отдельных весовых параметров трелевочного трактора ТТР-401 проводилось с целью дальнейшего проведения расчетных исследований по динамической нагруженности элементов силовой передачи и несущих систем.





а



б



в

**Рисунок 3 – Определение весовых параметров ТТР-401:  
а – переднего моста; б – заднего моста; в – трелевочного щита**

**Заключение.** Полученные результаты экспериментальных исследований колесной трелевочной машины ТТР-401 для обоснования параметров математической модели движения колесной трелевочной машины при работе на грунтах со слабой несущей способностью могут быть использованы при проектировании лесозаготовительной техники на специализированных предприятиях Республики Беларусь.

УДК630\*

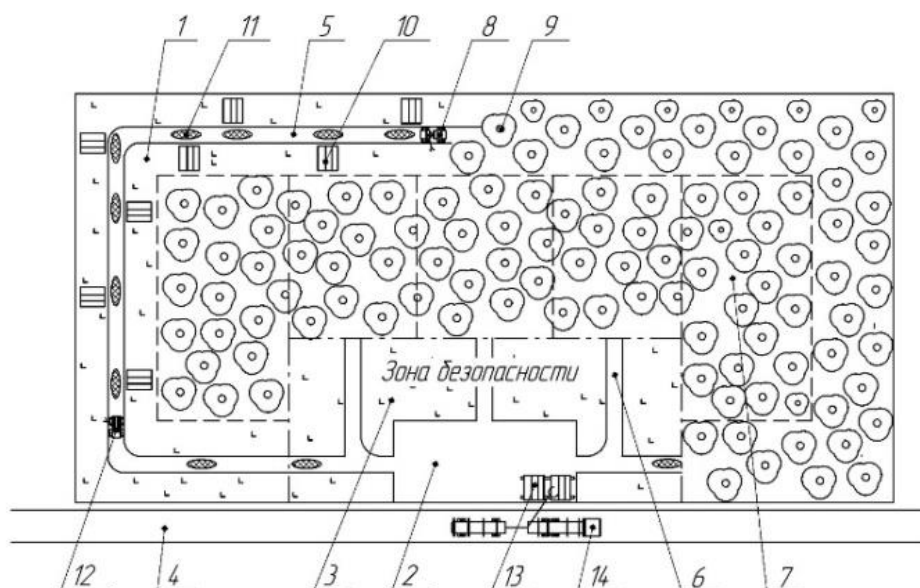
Е. А. Леонов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
Д. В. Клоков, доц., канд. техн. наук (БНТУ, г. Минск);  
В. С. Исаченков, ст. преп.; Д.А. Свекла, студ., А.А. Сийль студ.  
(БГТУ, г. Минск)

## **СПЕЦИФИКА ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ТРЕЛЕВКИ ДРЕВЕСИНЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЛЕСНОГО КОМПЛЕКСА**

Анализ существующих технологий и систем машин при выполнении лесосечных работ показал, что высокая механизация технологических операций с использованием машинных комплексов «харвестер – форвардер» характерна для лесосек с хорошей несущей способностью грунтов. В то же время разработка труднодоступного лесосечного фонда осуществляется главным образом с применением бензопил и трелевочных тракторов с канатно-чокерным оборудованием. Такой технологический процесс отличается значительным применением ручного труда, низкой производительностью и сопряжен с тяжелыми условиями труда и высокой вероятностью производственного травматизма.

Для решения поставленных проблем авторами предлагается новый способ разработки лесосек, при котором после выполнения всех необходимых подготовительных работ лесосеку разрабатывают в два этапа.

На первом этапе (рис. 1) разработки лесосеки 1 на доступной к освоению ее части в процессе движения по технологическому коридору 5 харвестер 8 производит разработку полосы леса шириной равной двойному максимальному вылету стрелы гидроманипулятора, осуществляя валку деревьев 9 с последующей очисткой их от сучьев, раскряжевкой на сортименты 10 и укладкой их по обеим сторонам от технологического коридора 5. Лесосечные отходы 11, образующиеся после очистки деревьев 9 от сучьев и раскряжевки хлыстов на сортименты 10, распределяются харвестером 8 по технологическому коридору 5 и прилегающих к нему участках для укрепления пути (то есть повышения его несущей способности) по которому движется харвестер 8 при срезании очередных деревьев и работающий на безопасном расстоянии форвардер 12, который производит сбор и подвозку сортиментов 10 на верхний склад 2. На верхнем складе 2 сортименты 10 укладываются в штабели 13, а затем загружаются на лесовозный автопоезд 14 с гидроманипулятором, установленным на его раме, с последующей вывозкой потребителю.

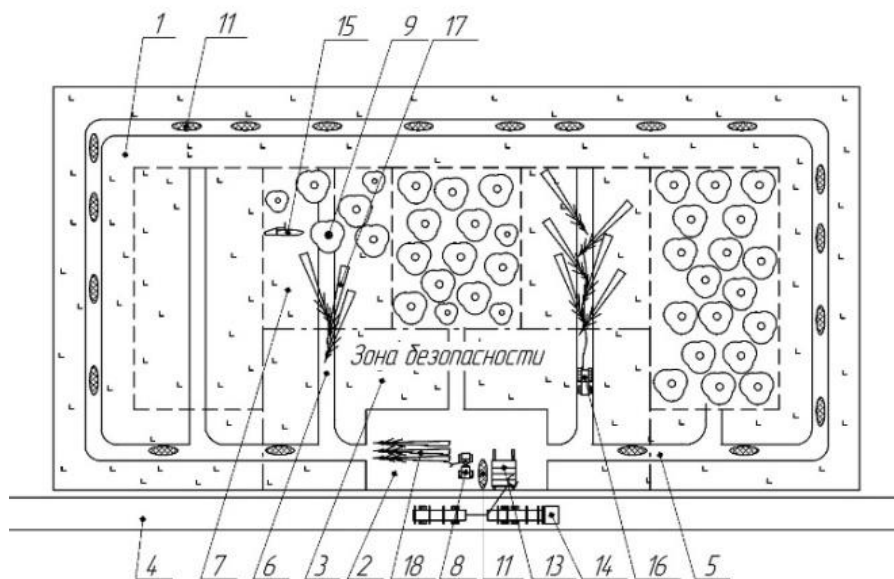


**Рисунок 1– Первый этап разработки лесосеки с использованием системы машин «харвестер – форвардер»**

Второй этап (рис. 2) разработки лесосеки 1 производится на труднодоступных ее участках по узкопосечной технологии, при которой разбивка неосвоенной части лесосеки 1 производится на пасеки 7 шириной 25–30 м по центру которых прокладываются трелевочные волокна 6 перпендикулярно к подъездному лесовозному пути 4. Разработка пасек 7 начинается с ближней по отношению к верхнему складу 2 стороны. Вальщик производит валку деревьев 9 бензопилой 15 вершиной на трелевочный волок 6. Колесный трелевочный трактор 16 с канатно-чокерной оснасткой движется по технологическому коридору 5 до границы пасеки 7, примыкающей к нему с установкой на трелевочный волок 6 на безопасном расстоянии от работы вальщика с бензопилой 15, где производит разворот с установкой щита до упора в землю по направлению к поваленным деревьям 17 на трелевочный волок 6. Канатоемкость барабана колесного трелевочного трактора 16 ТТР-411 составляет 90 м для одной из его модификаций. Такая длина каната позволяет обеспечивать сбор поваленных деревьев 17 по всей длине разрабатываемой пасеки 7. Чокеровщиком канат лебедки разматывается к поваленным на трелевочный волок 6 деревьям 17. Поваленные деревья 17 чокеруются чокеровщиком и в последующем оператором колесного трелевочного трактора 16 производится их подтаскивание к щиту, после чего щит приподнимается гидросистемой и осуществляется трелевка поваленных деревьев 17 за вершины на верхний склад 2 с укладкой их в штабель 18. На верхнем складе 2 харвестером 8 производится очистка деревьев из штабеля 18 от сучьев с последующей раскряжевкой ствольной части на сортименты 10 с укладкой их в штабели



13, древесина из которых вывозится потребителю по подъездному лесовозному пути 4 лесовозным автопоездом 14 с гидроманипулятором.



**Рисунок 2 – Второй этап разработки лесосеки с использованием системы машин «бензопила – колесный трелевочный трактор с КЧО – харвестер»**

После выполнения основных лесосечных работ и вывозки с верхнего склада 2 древесины потребителю валы лесосечных отходов 11, образующиеся после обработки деревьев из штабеля 18 харвестером 8 на верхнем складе 2, перерабатываются передвижной рубильной машиной с гидроманипулятором на щепу с последующей ее доставкой на энергообъекты автощеповозом по подъездному лесовозному пути 4 или оставляются на верхнем складе 2 для перегнивания.

Разработка лесосек по предлагаемому способу позволит:

- снизить долю ручного труда на операциях по очистке деревьев от сучьев и раскряжевке хлыстов на труднодоступных участках заготовки древесины;
- снизить травматизм при работе и обеспечить более высокую культуру производства;
- обеспечить повышение производительности работ на лесосеках на 19–23%;
- повысить сохранность наземной растительности, улучшить биоразнообразие за счет меньшего воздействия на почвогрунты колесного движителя, а значит ускорить процесс лесовозобновления на участках, где производились лесозаготовительные работы.

УДК 630\*377.4

В.С. Исаченков, ст. преп.; Войтеховский Б.В., ст. преп.;  
С.С. Карпович, канд. техн. наук; А.А. Беляков, студ.;  
Е.А. Касюк, студ. (БГТУ, г. Минск)

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ  
КОЛЕСНОГО ТРЕЛЕВОЧНОГО ТРАКТОРА  
С НАВЕСНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ  
РАЗЛИЧНОГО КОМПОНОВОЧНОГО РЕШЕНИЯ  
ПРИ РАБОТЕ В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ  
КАК ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА**

В настоящее время в Республике Беларусь значительная доля древесного сырья заготавливается по хлыстовой технологии трелевки, которая имеет ряд проблемных моментов, одна из которых это преодоление участков трелевочного и магистрального волоков со слабой несущей способностью грунтов, что является особыми условиями работы.

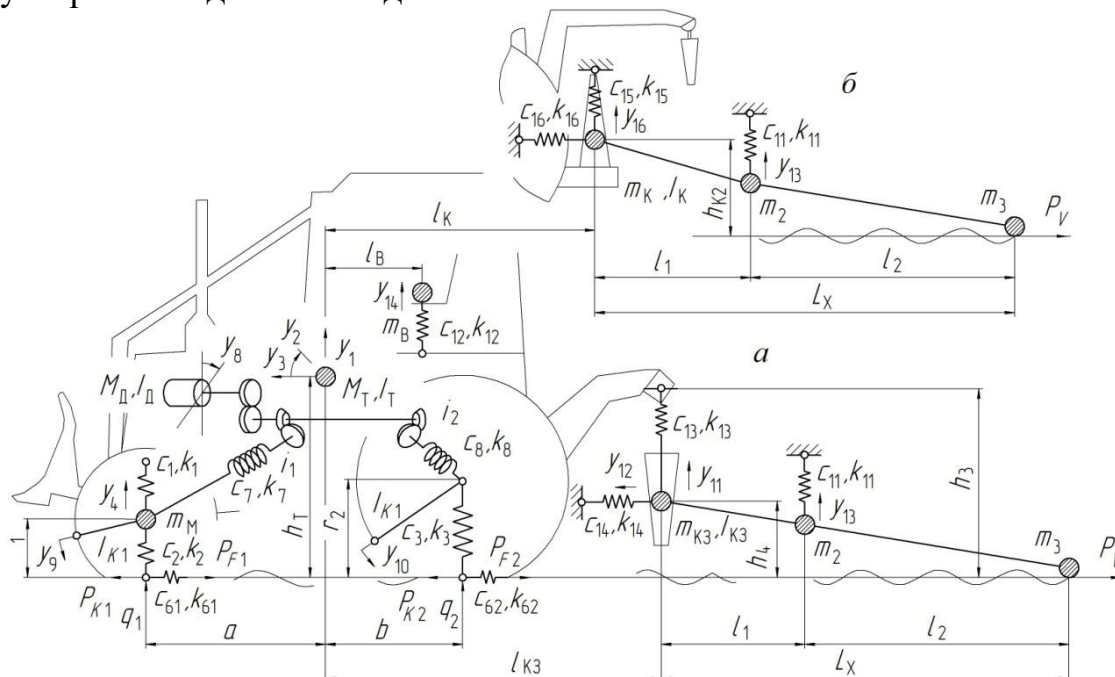
Решение этой задачи видится необходимостью в оснащении колесные трелевочные машины универсальным технологическим оборудованием, которое сочетала бы в себе возможность как навесного, так и прицепного варианта. Для прицепного варианта технологического оборудования наиболее рациональной и простой с точки зрения конструкции является опорная система в виде одноосной тележки. Подобное сочетание навесного и прицепного вариантов технологического оборудования позволит перераспределить нагрузки и крутящие моменты на полуосях базовой машины в момент буксования, увеличить проходимость, снизить затраты времени, тем самым увеличить производительность. Для определения оптимального состава технологического оборудования необходимо проведение исследований теоретической направленности.

**Постановка задачи.** Необходимо разработать уточненную математическую модель движения колесной трелевочной машины с навесным безчokerным технологическим оборудованием при работе в особых условиях как динамического объекта управления.

**Основная часть.** Поставленная задача была решена разработкой математических моделей на основе синтеза динамических звеньев входящих в систему «Колесная трелевочная машина – безчokerное технологическое оборудование – пачка хлыстов» (рис.1).

Основные принципы построения новых моделей аналогичны ранее разработанным математическим моделям, где за основу принимался базовый трактор МТЗ-82.1. При этом выбор расчетно-кинематических и ве-

совых 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.



**Рисунок 1 – Расчетные схемы динамической системы КТМ, оснащенной навесным технологическим оборудованием различных компоновочных решений**

Входящие в математические модели дифференциальные уравнения имели ряд допущений:

- 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 микронеровностей трелевочного волокна 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, безчokerным технологического оборудования и пачки хлыстов постоянны.

Подобные допущения позволили существенно минимизировать количество обобщенных координат рассматриваемых моделей.

Предлагаемый математический аппарат дал возможность получить в системе высокоуровневого программирования MATLAB 7.11.0 (R2010b) матрицы численных значений отклонений степеней свободы модели, первые производные этих отклонений и соответствующие им моменты времени протекания процесса, что позволило определить все необходимые параметры оценки динамической нагруженности колесной трелевочной машины.

Результаты теоретических исследований получены при различных объемах пачки хлыстов, скорости перемещения базовой машины по микропрофилю трелевочных и пасечных волок. В качестве критерия оптимизации выбирались минимальные значения максимумов нормированных спектральных плотностей ускорений рассматриваемых обобщенных координат. Весовые и геометрические параметры навесного безчokerного технологического оборудования были определены изменением входящих в динамическую систему параметров.

**Заключение.** В результате теоретических исследований были определены оптимальные значения диапазонов варьирования параметров колесной трелевочной машины с навесным безчokerным технологическим оборудованием различного компоновочного решения при работе в особых условиях как динамического объекта управления, которые могут быть использованы при проектировании новой лесозаготовительной техники на специализированных машиностроительных предприятиях Республики Беларусь.

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

## **ОСОБЕННОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССА ДВИЖЕНИЯ СКИДДЕРА С ПРИЦЕПНЫМ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ОБОРУДОВАНИЕМ**

В Республике Беларусь в настоящее время значительная доля древесного сырья заготавливается по хлыстовой технологии трелевки, которая имеет ряд проблемных моментов, в том числе преодоление участков трелевочного и магистрального волоков со слабой несущей способностью грунтов.

Решение этой задачи видится необходимостью в оснащении колесные трелевочные машины универсальным технологическим оборудованием, которое сочетала бы в себе возможность как навесного, так и прицепного варианта. Для прицепного варианта технологического оборудования рассматривается несколько вариантов опорной системы. Подобное сочетание навесного и прицепного вариантов технологического оборудования позволит перераспределить нагрузки и крутящие моменты на полуосях базовой машины в момент буксования, увеличить проходимость, снизить затраты времени, тем самым увеличить производительность. Для определения оптимального состава технологического оборудования и его опорной системы необходимо проведение исследований теоретической направленности.

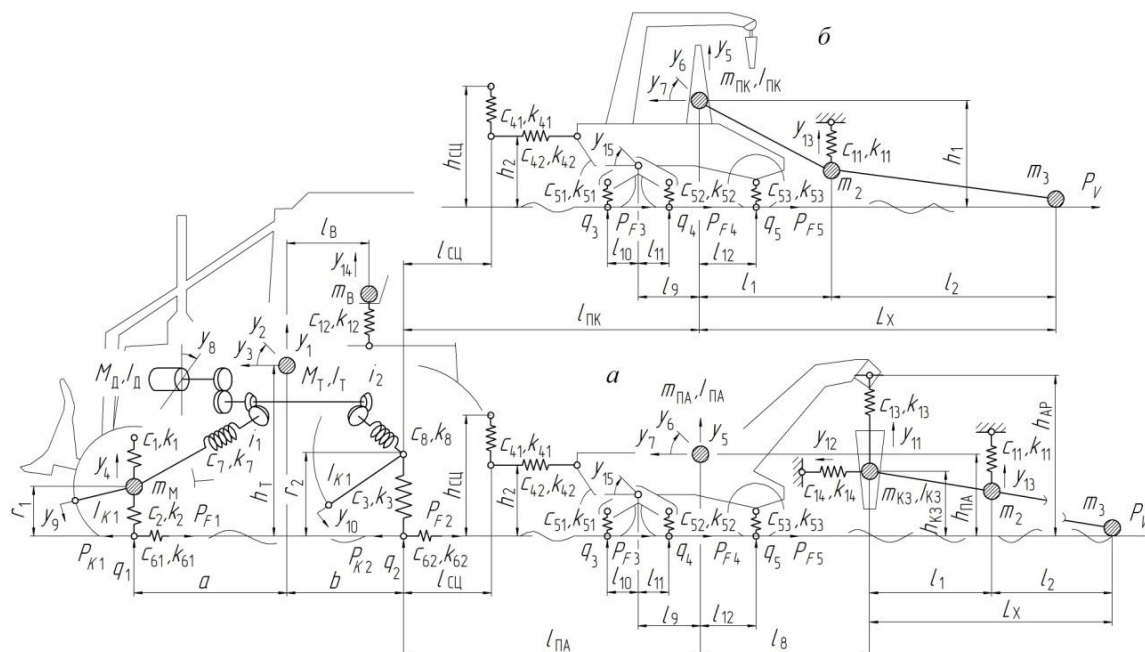
**Постановка задачи.** Необходимо разработать уточненную математическую модель движения колесной трелевочной машины с прицепным безчokerным технологическим оборудованием.

**Основная часть.** Поставленная задача была решена разработкой математических моделей на основе синтеза динамических звеньев входящих в систему «Колесная трелевочная машина – безчokerное прицепное технологическое оборудование – пачка хлыстов» (рис.1).

Основные принципы построения новых моделей аналогичны ранее разработанным математическим моделям, где за основу принимался базовый трактор МТЗ-82.1.

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.



**Рисунок 1 – Расчетные схемы динамической системы КТМ, оснащенной прицепным технологическим оборудованием различных компоновочных решений**

Входящие в математические модели дифференциальные уравнения имели ряд допущений, которые позволили существенно минимизировать количество обобщенных координат рассматриваемых моделей.

Предлагаемый математический аппарат дал возможность получить матрицы численных значений отклонений степеней свободы моделей, первые производные этих отклонений и соответствующие им моменты времени протекания процесса.

**Заключение.** В результате теоретических исследований были определены оптимальные параметры динамической нагруженности колесной трелевочной машины с прицепным безчokerным технологическим оборудованием различных компоновочных решений.

## **РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СПЕЦИАЛЬНОСТЕЙ В ВУЗЕ**

Интегрированная система Mathcad является системой компьютерной алгебры – в нее интегрированы средства символьной математики, что позволяет решать задачи не только численно, но и аналитически, используя встроенный символьный процессор, являющийся, фактически, системой искусственного интеллекта.

Примерами таких задач могут служить задачи оптимального использования ресурсов, загрузки оборудования, распределения станков по операциям, оптимизация грузопотоков, планирования производства, составления сплавов и смесей. Mathcad имеет единый мощный инструмент решения оптимизационных задач – средство «встроенные функции Maximize, Minimize и логический блок Given». При этом главное – требуется грамотно сформулировать поставленную задачу, составить ее математическую модель, а оптимизационное решение найдет компьютер.

Студенты находят и анализируют полученные оптимальные решения, с использованием теории двойственности, создавая отчеты по результатам, при этом от студента требуется понимание смысла полученных решений прямой и двойственной задач, умение трактовать данные на языке исходной задачи. Студенты учатся решать эти задачи как вручную, когда можно уловить смысл решения, переходя к более выгодному опорному плану, понять динамику процесса, так и на компьютере, уже понимая суть проводимых компьютером вычислений и многовариантности решений поставленной задачи. При построении межотраслевых балансов используются такие возможности Mathcad, как нахождение обратной матрицы большой размерности, решение матричных уравнений, при этом исследуются связи отраслевых структур валового выпуска и конечного спроса. На занятиях решаются задачи оптимизации и транспортные задачи, задачи с использованием моделей управления запасами, проводится моделирование конфликтных ситуаций с помощью теории игр как сведением к задаче линейного программирования, так и с применением различных критериев.

В результате выполнения лабораторных работ с использованием системы Mathcad студенты приобретают навык постановки задач компьютерной оптимизации и решения поставленной инженерно-экономической задачи.

## ВИЗУАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОЙ ТРАССЫ АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ

Для нахождения оптимального варианта трассы автомобильной дороги с использованием теории графов по методу Флойда [1] и визуализации алгоритма выбора кратчайших путей была разработана программа. Для ее реализации использовалась технология Windows Forms и язык программирования C#, а для написания приняты следующие элементы управления:

- DataGridView – для отображения матрицы смежности.
- ComboBox – для выбора начальной и конечной вершины пути.
- NumericUpDown – определяет количество вершин.
- TextBox – для вывода кратчайшего расстояния и пути между вершинами.
- Button – для подсчета, вывода и удаления матрицы смежности.

Поскольку вычислительные средства обрабатывают только цифровую информацию, условия строительства в каждой точке территории можно с требуемой степенью точности описать рядом чисел  $x, y, n_1, n_2, \dots, n_k$ , где  $x$  и  $y$  – координаты данной точки в прямоугольной системе координат;  $n_1, n_2, \dots, n_k$ , конечный ряд чисел, характеризующий условия дорожного строительства в данной точке.

Работа по созданию цифровой модели проводится в два этапа.

Первый этап заключается в построении инженерно-геологической карты. Работа выполняется по материалам аэрофотосъемки с использованием материалов инженерно-геологической съемки территории. Кроме того, производится накладка на исследуемую территорию изысканных и построенных трасс автомобильных дорог. Результатом первого этапа является карта категорий местности по условиям дорожного строительства.

Второй этап основан на построении цифровой модели по уже имеющейся карте категорий местности.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Лащенко, А. П. Нахождения оптимального варианта трассы автомобильной дороги с использованием теории графов / А. П. Лащенко // VII Международная научно-техническая интернет-конференция "Информационные технологии в образовании, науке и производстве", 16-17.11 2019 г., Минск, Беларусь [Электронный ресурс] / Белорусский национальный технический университет; сост. Е. В. Кондратёнок. – Минск: БНТУ, 2019. – С. 334-336.



УДК 630\*31(043.3)

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

## РЕЗУЛЬТАТЫ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, ХАРАКТЕРИЗУЮЩИХ ВРЕМЯ РАБОТЫ СОРИМЕНТОВОЗОВ НА ВЫВОЗКЕ ДРЕВЕСИНЫ

Качественное планирование работы любой транспортной системы во многом зависит от обобщения характеристик продолжительности функционирующих процессов. Для работы сортиментовозов на вывозке заготовленной древесины основными процессами являются: движение в порожнем и грузовом направлениях, погрузочно-разгрузочные работы.

Для изучения характеристик работы сортиментовозов были организованы исследования на базе ГОЛХУ «Осиповичский опытный лесхоз». Исследования проводились в летний, осенний, зимний и весенний периоды. В качестве изучаемой характеристики выступало время движения 1 км в грузовом и порожнем направлениях, которой фиксировалось при помощи секундомера и цифровой видеокамеры.

Маршруты движения включали участки с асфальтобетонным и гравийным типами покрытий (дороги общего пользования), а также участки с лесными грунтовыми путями. Протяженность каждого участка определялась по техническим паспортам дорог, по которым проходил маршрут движения. Определение протяженности лесного транспортного пути проводилось либо непосредственным замером, либо расчетом. Количество замеров времени движения определялось согласно методике планирования эксперимента, изложенной в работе [1]. Так, например, для сортиментовоза МАЗ-630308 + МАЗ 83781020 количество замеров составило не менее расчетных значений, представленных в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты определения необходимого количества замеров  
времени проезда 1 км**

Период исследований	Порожнее направление			Грузовое направление		
	асфальтобетонное покрытие	гравийное покрытие	грунтовое естественное покрытие	асфальтобетонное покрытие	гравийное покрытие	грунтовое естественное покрытие
осенний	58	46	48	59	41	45
зимний	56	33	44	45	39	40
весенний	55	39	44	43	38	42
летний	52	44	48	42	39	41

При проведении исследований в указанные периоды, покрытия участков маршрута были в характерных эксплуатационных состояниях: в весенний и осенний периоды наблюдалось значительное усложнение дорожных условий на маршрутах вследствие избыточного увлажнения участков дорог с гравийным и грунтовым покрытиями; в зимний период участки маршрутов с грунтовым естественным покрытием были полностью засыпаны снегом, и движения по ним осуществлялось как по «целине» так и по накатанному снегу (колее); для летнего периода исследований было характерно сухое состояний покрытий участков маршрутов.

В итоге были получены массивы значений времени хода 1 км в исследуемые периоды по асфальтобетонному, гравийному и грунтовому естественному типам покрытий. Для полученных данных посредством стандартных методов обработки результатов эксперимента [2], а также специализированных программных приложений были построены фактические полигоны распределений времени хода 1 км, построены кумулятивные кривые и определены основные статистические показатели. Проверка гипотезы о нормальности закона распределения показателя времени хода 1 км проводилась при помощи критерия  $\chi$ -квадрат (Пирсона), и для всех рассматриваемых случаев гипотеза подтвердилась. Результаты обработки полученных данных представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты статистической обработки значений времени проезда 1 км сортиментовоза МАЗ-630308 + МАЗ 83781020**

Показатели	Значения показателей по периодам исследований			
	весенний	летний	осенний	зимний
1	2	3	4	5
<i>Асфальтобетонное покрытие, порожнее направление</i>				
Среднее значение времени проезда 1 км, мин/1 км	1,053	0,903	1,103	1,059
Доверительный интервал	1,040	0,884	1,090	1,040
	1,065	0,932	1,117	1,078
Критерий Пирсона $\chi^2$	3,042	1,948	1,844	1,708
<i>Гравийное покрытие, порожнее направление</i>				
Среднее значение времени проезда 1 км, мин/1 км	1,162	0,920	1,155	1,096
Доверительный интервал	1,149	0,889	1,139	1,079
	1,175	0,951	1,171	1,113
Критерий Пирсона $\chi^2$	1,140	1,656	0,403	6,087

Продолжение таблицы

1	2	3	4	5
<i>Грунтовое естественное покрытие, порожнее направление</i>				
Среднее значение времени проезда 1 км, мин/1 км	2,780	2,464	2,806	2,736
Доверительный интервал	2,766	2,431	2,793	2,702
	2,794	2,497	2,819	2,770
Критерий Пирсона $\chi^2$	2,482	2,844	4,077	2,324
<i>Асфальтобетонное покрытие, грузовое направление</i>				
Среднее значение времени проезда 1 км, мин/1 км	1,143	0,976	1,176	1,151
Доверительный интервал	1,128	0,949	1,164	1,137
	1,160	1,003	1,188	1,164
Критерий Пирсона $\chi^2$	3,188	7,054	1,075	4,610
<i>Гравийное покрытие, грузовое направление</i>				
Среднее значение времени проезда 1 км, мин/1 км	1,178	0,982	1,226	1,172
Доверительный интервал	1,163	0,960	1,211	1,152
	1,194	1,003	1,241	1,192
Критерий Пирсона $\chi^2$	2,748	6,169	2,195	1,475
<i>Грунтовое естественное покрытие, грузовое направление</i>				
Среднее значение времени проезда 1 км, мин/1 км	2,985	2,653	2,806	2,828
Доверительный интервал	2,969	2,614	2,788	2,802
	3,001	2,692	2,823	2,854
Критерий Пирсона $\chi^2$	3,340	2,955	3,428	1,587

Таким образом, подтверждена гипотеза о нормальном законе распределения времени проезда одного километра как случайной величины (табличные значения критерия Пирсона для уровня значимости равного 0,95 и числе степеней свободы равном 4 составляет 9,488, что больше всех полученных значений  $\chi^2$ ).

## ЛИТЕРАТУРА

1. Нефедов, А. Ф. Планирование эксперимента и моделирование при исследовании эксплуатационных свойств автомобилей / А. Ф. Нефедов, Л. Н. Высочин. – Львов.: Вища школа, 1976. – 160 с.
2. Пижурин, А. А. Основы научных исследований в деревообработке: учебник для вузов / А. А. Пижурин. – М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2005. – 305 с.

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНИКО-ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ЛЕСОВОЗНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ

Одним из основных показателей, характеризующим работу лесовозных транспортных средств на вывозке древесины, является производительность. Производительность грузового автомобильного транспорта определяется количеством выполненных тоннокилометров (кубокилометров) или перевезенных тонн груза (метров кубических) за единицу времени. Работу лесовозных транспортных средств с гидроманипулятором на вывозке древесины можно охарактеризовать сменной производительностью, определяемой по зависимости (1) [1].

$$P_{см} = \frac{(T_{см} - T_{пз} - T_{отл}) C Q_{пол}}{T_{зр} + T_{хол} + T_{ног} + T_{раз}}, \quad (1)$$

где  $T_{см}$  – число часов работы в смену, час;  $T_{пз}$  – подготовительно-заключительное время, час;  $T_{отл}$  – время на отдых и личные надобности, час;  $C$  – коэффициент использования рабочего времени;  $Q_{пол}$  – полезная нагрузка на рейс, м<sup>3</sup>;  $T_{зр}$  – продолжительность движения с грузом, час;  $T_{хол}$  – продолжительность движения без груза, час;  $T_{ног}$  – продолжительность погрузочных работ, час;  $T_{раз}$  – продолжительность разгрузочных работ, час.

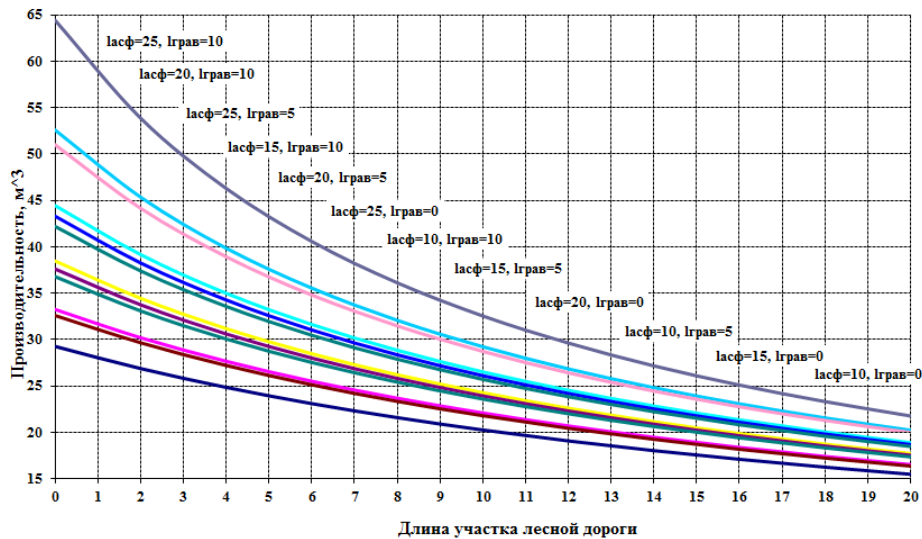
Для работы на маятниковых маршрутах [], включающих участки с асфальтобетонным и другими типами покрытий, зависимость (1) можно представить в виде

$$P_{см} = \frac{(T_{см} - T_{пз} - T_{отл}) C Q_{пол}}{t_{1 км}^{асф, гр} \cdot (l_{асф}^{гр} + \sum_{i=1}^I k_i^{зр} \cdot l_i^{зр}) + t_{1 км}^{асф, хол} \cdot (l_{асф}^{хол} + \sum_{j=1}^J k_j^{хол} \cdot l_j^{хол}) + T_{ног} + T_{раз}}, \quad (2)$$

где  $t_{1 км}^{асф, гр}$ ,  $t_{1 км}^{асф, хол}$  – время хода 1 км по асфальтобетонному покрытию в грузовом и холостом направлении, час/км [2, 3];  $l_{асф}^{гр}$ ,  $l_{асф}^{хол}$  – протяженности участка маршрутов в грузовом и порожнем направлениях с асфальтобетонным покрытием, км;  $k_i^{зр}$ ,  $k_j^{хол}$  – коэффициенты сложности движения в грузовом и холостом направлении для типов покрытия,  $i = 1, 2, \dots, I$  – количе-

ство участков маршрута движения с различными типами покрытия в грузовом направлении,  $j = 1, 2, \dots, J$  – количество участков маршрута движения с различными типами покрытия в холостом направлении [2, 3];  $t_i^{2P}$ ,  $t_i^{XOL}$  – протяженности участка маршрутов в грузовом и холостом направлениях с различными типами покрытия, км; – время хода 1 км по асфальтобетонному покрытию в холостом направлении, час/км [2, 3].

Зная коэффициенты сложности движения [2, 3], используя полученную зависимость (2), с достаточной степенью точности можно моделировать технико-эксплуатационные показатели работы лесовозных транспортных средств (например, см. рисунок).



**Рисунок 1 – Моделирование производительности на различных маршрутах работы**

Организация работы лесовозных транспортных средств, оперативное планирование вывозки древесины, определение технико-экономических показателей работы техники – эти и многие другие вопросы напрямую связаны с определением времени цикла работы.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Шегельман, И.Р. Вывозка леса автопоездами. Техника. Технология. Организация: учеб. пособие / И.Р. Шегельман [и др.]; под ред. И.Р. Шегельмана; ПРОФИКС. – Санкт – Петербург, 2008. – 304 с.
2. Короленя, Р. О. Классификация маршрутов перевозки древесины и определение продолжительности движения по ним сортиментовозов в условиях работы лесохозяйственных учреждений Республики Беларусь / Р. О. Короленя // Технология и оборудование лесопромышленного комплекса: сборник научных трудов СПбГЛТУ. – 2013. – Вып. 6. – С. 109-116.

УДК 674.8: 676.021.8

С. П. Трофимов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **ПОДВИЖНОСТЬ СЛОЯ ЧАСТИЦ ИЗМЕЛЬЧЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ НА НАКЛОННОЙ ОПОРНОЙ ПЛОСКОСТИ**

В процессах производства, перемещения, бункеровки и складирования измельченной древесины (ИД) необходимо определять условия обеспечения движения или неподвижности слоя частиц на наклонной опорной поверхности. Наличие соответствующей информации является основой принятия надежных конструктивных и проектных решений.

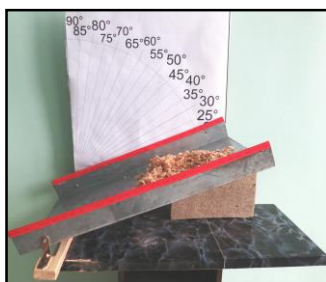
Объектом исследований является ИД в виде отходов технологических процессов механической обработки древесины и древесных материалов, которая была получена с деревообрабатывающих предприятий.

На начальной стадии исследовательских работ проведены поиск и анализ данных, содержащихся в отечественных и зарубежных нормативно-технических документах, публикациях и других источниках информации, содержащих сведения об измельченных материалах в процессах их получения, перемещения, складирования и применения, о подвижности слоя ИД, критериях, показателях оценки, характеристик частиц. Они указывают на недостаточность исследований в рассматриваемой предметной области применительно к деревообработке.

Кроме того, были осуществлены контакты, обмен информацией и некоторое взаимодействие в исследовании ИД со специалистами ИТМО НАНБ, Университета естественных наук (Познань) и участниками международных научно-технических конференций за рубежом.

С учетом выводов по результатам анализа источников информации и нормативной базы сделаны соответствующие выводы, определены программа, методика и технические средства проведения исследований. В частности, были изготовлены специальные лабораторные установки.

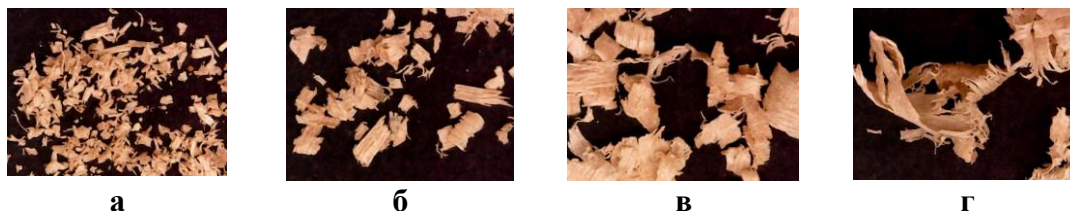
Для нескольких пород, видов и фракций ИД с использованием лабораторной установки (рисунок 1) были проведены замеры угла наклонной плоскости, обеспечивающих начало скольжения (скатывания) испытуемого материала. Угол наклона опорной плоскости скольжения (листовая оцинкованная сталь, ГОСТ 14918-80) в ходе эксперимента плавно увеличивался вплоть до появления движения частиц (влажность древесины 6...8%, толщина слоя около 10 мм, значения температуры и влажности воздуха были близки к, так называемым нормальным – соответственно +20°C и 60%).



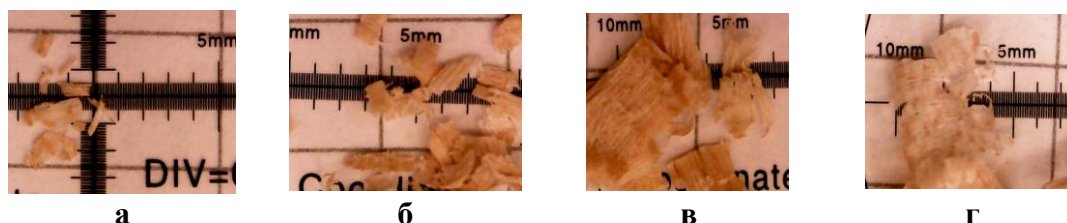
**Рисунок 1 – Лабораторная установка для определения условий подвижности слоя ИД на опорной плоскости скольжения гравитационного спуска**

Гранулометрический состав ИД (опилки и стружка фрезерования), полученной с различных видов деревообрабатывающего оборудования был определен в процессе сортировки и пробоподготовки (указаны в таблице) с использованием вибрационного ситового анализатора А30 ООО «ВИБРОТЕХНИК». Для установления фракционного состава пыли шлифования березовой фанеры применялся лазерный дифрактометр Analisette [1]. Эту стадию работ, в порядке выборки (для стружки бука, фракций 0...5 мм), иллюстрируют рисунки 2 и 3.

Анализ геометрии и определение размеров частиц ИД проведен с использованием электронного микроскопа модели SO2. На рис. 2 приведены фотографии нескольких фракций буковой стружки фрезерования после ее сортировки.



**Рисунок 2 – Вид стружки бука разных фракций, осажденные на ситах анализатора: а - 0 мм; б - 1 мм; в - 2 мм; г - 5 мм**



**Рисунок 3 – Измерение разных фракций частиц, осажденных на ситах анализатора: а - 0 мм; б - 1 мм; в - 2 мм; г - 5 мм**

В таблице 1 приведена выборка результатов из серии проведенных экспериментальных работ, которая отражает средние значения угла наклона плоскости в начале скольжения нескольких видов ИД.

**Таблица 1 – Средние значения угла наклона плоскости  
в начале скольжения ИД**

Вид ИД	Средние значения угла наклона плоскости в начале скольжения, град.					В среднем для одного вида ИД
	Фракция ИД (№ сита)					
	0	1	2	5	10	
Стружка бук	38,95	38,25	37,05	36,00	34,30	36,91
Опилки дуб	35,23	34,95	34,875	34,08	30,70	33,98
Стружка сосна	37,30	37,50	36,8	36,73	37,10	37,09
Смесь равных трех видов ИД	37,16	36,90	36,24	35,60	34,03	

В результате экспериментальных работ получены сведения о величине и изменчивости показателей подвижности слоя частиц нескольких видов, пород и фракций ИД при скольжении на наклонной плоскости гравитационного спуска.

Из приведенных в таблице данных можно сделать вывод: мелкие пылевидные частицы требуют наиболее высокого значения угла наклона опорной плоскости гравитационного спуска скольжения, что необходимо учитывать при решении практических задач гравитационного транспортирования и бункеровки ИД.

Было признано актуальным провести сопоставление значений минимального угла наклона плоскости гравитационного скольжения ИД и угла естественного откоса этих материалов в спокойном состоянии, [2].

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Rogozinski, T. Dust creation during birch plywood production / T. Rogozinski, S. Trofimov. – Annals of Warsaw University of Life Sciences. – SGGW. Forestry and Wood Technology. No 98, 2017. – p. 99–103.
2. Trofimov, S. Determination of variability the slope angle of the chipped wood / S. Trofimov, T. Rogozinski. – 11-th International Science Conference «Chip and chipless woodworking processes». – Technical University in Zvolen TUZVO 12–15 september 2018, – Scientific journal. – p.177–182.
3. Rogoziński, T. A study on properties of wood dust created during windows manufacturing / T. Rogozinski, C. Dembinski, A. Ockajova. – Annals of Warsaw University of Life Sciences. – SGGW. Forestry and Wood Technology. No 98, 2017. – p. 94–99.



С. П. Трофимов, доц., канд. техн. Наук;  
С. С. Гайдук, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## МЕТОДИКИ НАЗНАЧЕНИЯ ТОЧЕК ЗАМЕРА ПАРАМЕТРОВ ПОТОКА ВОЗДУХА В ТРУБОПРОВОДЕ

В процессе проведения исследовательских и пусконаладочных работ систем аспирации и пневмотранспорта (САП) измельченной древесины (ИД) и других сыпучих материалов должны быть осуществлены замеры параметров воздушного потока в трубопроводах с определением средних значений скорости и расхода воздуха. В условиях турбулентности и непостоянства скорости в поперечном сечении воздуховода необходимо соблюдение правил и методик выбора точек замера, которые обеспечат достаточную достоверность и точность полученных результатов.

Объектом рассмотрения являются методики и правила определения скорости и расхода воздуха в трубопроводах САП при выполнении научных исследований, лабораторных работ в учебном процессе подготовки специалистов, а также в процессе эксплуатации установок на предприятиях.

Были проведены поиск и анализ данных отечественных и зарубежных источников информации, в рассматриваемой предметной области [1–5]. Они указывают на неоднозначность правил и методик, применительно к решению научно-исследовательских и практических задач, связанных с проектированием и эксплуатацией САП.

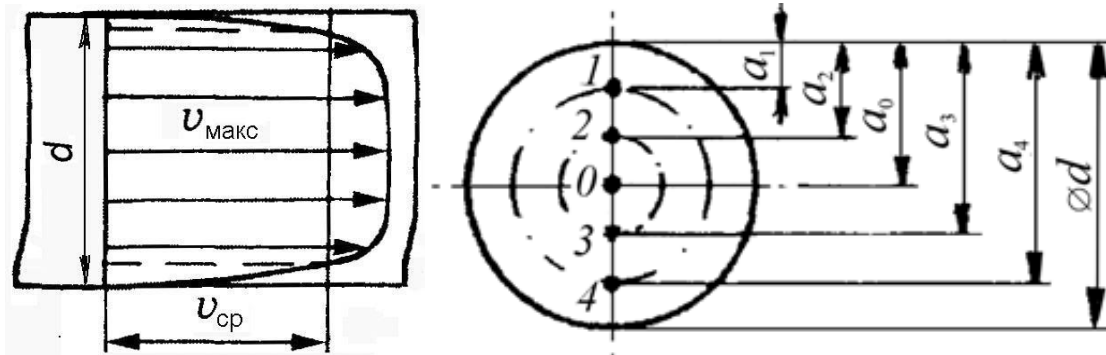
Скорость воздушного потока  $v$  в условиях турбулентности непостоянна во времени и поперечном сечении воздуховода. У стенок прямолинейного участка трубы, в пограничном слое, она характеризуется минимальным значением в средней зоне – максимальным  $v_{\text{макс}}$  (рис. 1). При проведении проектных расчетов систем аспирации и пневмотранспорта оперируют средним значением потоковой скорости в поперечном сечении трубы, не оговаривая это особо.

Количество  $n$  и рекомендуемое местоположение точек замера обычно устанавливается в зависимости от диаметра трубы  $d$ . Например, согласно [1], при выборе точек замера поперечное сечение воздуховода САП разбивается на четное число равновеликих по площади колец, которое возрастает с увеличением  $d$ . На рис. 1 приведен пример размещения точек замера при диаметре труб равном 125–150 мм.

Расстояние  $a_i$  от стенки трубы до каждой  $i$ -той точек замера определяется по формуле (1).

$$a_i = d \left( 1 - \sqrt{1 - (2i-1)/n} \right) / 2, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр трубы, мм;  $i$  – порядковый номер точки;  $n$  – число точек.



**Рисунок 1 – Изменение скорости воздушного потока в поперечном сечении трубы и схема расположения точек замера параметров при  $d = 125$ – $150$  мм и  $n = 4$**

Замер динамического давления и скорости производится в одном или двух взаимно перпендикулярных диаметрах в  $n$  точках, исключая нулевую на середине диаметра (расстояние  $a_0 = d/2$ ).

На основе результатов измерения динамического давления  $H_d$  в  $n$  точках поперечного сечения трубы определяются:

- среднее квадратичное значение динамического давления [1]:

$$H_{д.ср} = \left( (\sqrt{H_{д1}} + \sqrt{H_{д2}} + \dots + \sqrt{H_{дn}}) / n \right)^2, \quad (2)$$

- средняя скорость воздушного потока

$$v_{ср} = \sqrt{2H_{д.ср} / \rho} \quad (3)$$

- объемный расход воздуха

$$Q = v_{ср} (60\pi d^2 / 4). \quad (4)$$

Отличающаяся от предыдущей [1] методика определения количества и расположения точек замера параметров воздушного потока предусмотрена ГОСТ 12.2.018 [2]. Координаты точек измерения давлений и скоростей в воздуховодах цилиндрического сечения согласно этому стандарту принимаются по схеме рис. 2.

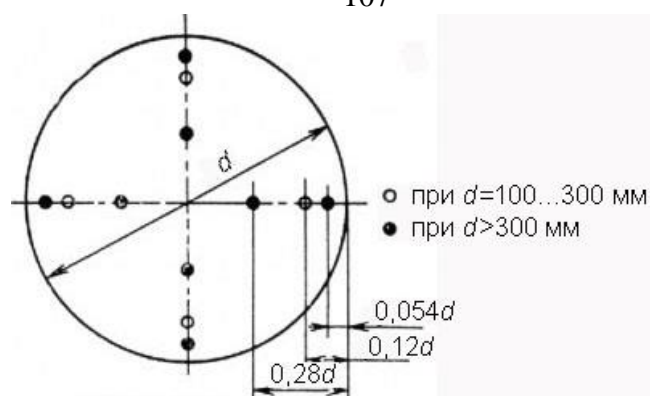


Рисунок 2 – Координаты точек замера параметров воздушного потока в поперечном сечении круглых труб диаметром  $d$ , [2]

Динамическое давление  $p_d$  (кПа) средней скорости движения воздуха определяют по измеренным в  $z$  точках (рис. 2) величинам динамических давлений  $p_{di}$  по формуле

$$p_d = \left( \left( \sum_{i=1}^z p_{di}^{0.5} \right) / z \right)^{0.5}. \quad (5)$$

Средняя скорость движения воздуха  $v_m$  в мерном сечении (рис. 2) при плотности воздуха  $\rho$  (кг/м<sup>3</sup>) определится по формуле

$$v_m = (2p_d / \rho)^{0.5}. \quad (6)$$

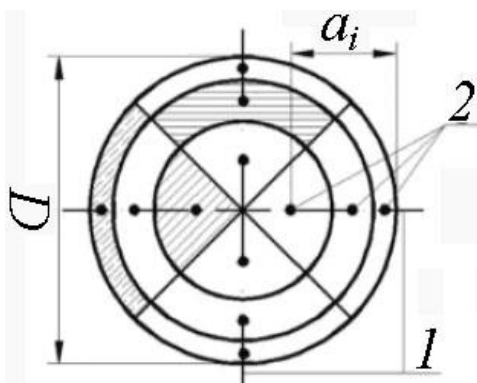
Объемный расход воздуха  $L$  (м<sup>3</sup>/с) с учетом площади поперечного сечения трубы  $F$  (м<sup>2</sup>) определяют по формуле

$$L = Fv_m. \quad (7)$$

В СТБ 17.08.05-02 приведена другая методика определения количества, местоположения точек замера параметров воздушных потоков и обработки опытных данных. Для газоходов круглого сечения диаметром 500 мм и менее точки измерения располагаются на одной измерительной оси, при диаметре больше 500 мм – на двух перпендикулярных осях пересекающихся в центре измерительного сечения (рис. 3). Расстояние  $a$  от внутренней стенки газохода до каждой точки измерений определяется по формуле (8), при этом первая точка должна располагаться не ближе 50 мм от стенки.

$$a_i = k_i d 10^{-2}, \quad (8)$$

где  $a_i$  – расстояние до  $i$  точки измерения;  $k_i$  – коэффициент, определяемый по табл. Б стандарта;  $D$  – внутренний диаметр газохода.



**Рисунок 3 – Точки измерения скорости для  $n=12$  (заштрихованные участки имеют равные площади: 1 – измерительные оси; 2 – точки измерения)**

Примером зарубежных источников информации, которые были рассмотрены по теме методики измерения параметров работы САП в деревообработке, являются [4, 5]. Они отражают нормативную базу стран ЕС.

Проведенный анализ говорит о противоречивости, недостаточной адаптации методик применительно к условиям САП и необходимости их совершенствования.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Святков, С.Н. Пневматический транспорт измельченной древесины / С.Н. Святков. – М.: Лесная пром-сть, 1966. – 320 с.
2. Система стандартов безопасности труда. Системы вентиляционные. Методы аэродинамических испытаний: ГОСТ 12.3.018–79. Минск: Госстандарт, 2001. – 12 с.
3. Охрана окружающей среды и природопользование. Атмосферный воздух. Методы определения скорости и расхода газов, поступающих в атмосферный воздух от стационарных источников выбросов. СТБ 17.08.05-02-2016. Минск: РУП «Бел НИЦ «Экология». – 24 с.
4. Lachenmayr, G. Energietechnik für Holzindustrie / G. Lachenmayr, H. Kreimes. – Rosenheim: Eigenverlag Prof. Dr. G. Lachenmayr, 2009. – 471 s.
5. VDI Richtlinie 2640. Netzmessungen in Strömungsquerschnitten. Allgemeine Richtlinien und mathematische Grundlagen.

С.С. Гайдук, доц., канд. техн. наук,  
Е.В. Ручкина, ассист. (БГТУ, г. Минск)

## МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ МАССИВНОЙ ДРЕВЕСИНЫ

В процессе выпуска изделий из древесины с целью рационального использования сырья и повышения формоустойчивости изделий производится операция склеивания массивной древесины. Наиболее важными показателями клеевых соединений является прочность и водостойкость. На территории Таможенного союза требования на клееные изделия из древесины изложены в ряде стандартов: ГОСТ 25884-83, ГОСТ 25885-83, ГОСТ 20850-84, ГОСТ 20850-2014, СТБ 1722-2007, ГОСТ 17005-82 и др.

В мебельном производстве наиболее часто используются требования ГОСТ 17005-82 [1]. Метод основан на определении группы водостойкости по прочности клеевых соединений на скалывание вдоль волокон после выдержки образцов в воде и их кипячения.

Группу водостойкости клеевых соединений устанавливают по средним арифметическим показателям прочности испытанных образцов согласно таблице 1.

**Таблица 1 – Группа водостойкости клеевых соединений**

Группа стойкости клеевых соединений	Средняя прочность клеевых соединений при скалывании вдоль волокон древесины, МПа, после выдержки образцов в воде температурой	
	(20±2)°С	100°С
Низкая	До 3,2	–
Средняя А	3,2 и более	До 2,0
Средняя Б	3,2 и более	От 2,0 до 3,2
Повышенная	3,2 и более	3,2 и более

Образцы в воде температурой (20±2)°С выдерживают в течение 48 ч. Образцы в кипящей воде выдерживают в течение 3 ч. По истечении этого времени образцы охлаждают в течение 30 мин в воде температурой (20±2)°С.

В случае экспорта продукции необходимо, чтобы она соответствовала требованиям европейских стандартов. 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.

В производстве мебели 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.

Минимальные значения прочности и водостойкости для класса D3 представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Показатели прочности клеевого соединения при сдвиге (D3)**

Последовательность выдержки	Прочность клеевого соединения, МПа
7 дней при нормальном климате ( $t = 23-25^{\circ}\text{C}$ и $\varphi = 50-70\%$ )	$\geq 10$
7 дней при нормальном климате 4 дня в холодной воде ( $t = 20-23^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 2$
7 дней при нормальном климате 4 дня в холодной воде 7 дней при нормальном климате	$\geq 6$

Требования ГОСТ 17005-82 и DIN EN 204/205 при проведении испытаний подразумевают использование различных по форме образцов и условий выдержки. Следует отметить, что ГОСТ 17005 регламентирует проведение испытаний только на древесине хвойных пород древесины, что не позволяет в полной мере определить прочность клеевого соединения, если разрушение преимущественно происходит по древесине. По DIN испытания предпочтительно проводить на образцах древесины бука.

Проведенный анализ показывает, что существующие методики имеют отличия и требуют выработки единого подхода к определению физико-механических показателей клееной древесины с целью унификации требований национальных и европейских стандартов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Конструкции деревянные клееные. Метод определения водостойкости клеевых соединений: ГОСТ 17005-82. – Введ. 23.11.1982. – М.: Изд-во стандартов, 1982. – 8 с.

2. Клеи. Клеи неконструкционные для дерева. Определение прочности склеивания продольных склеек испытанием на разрыв: DIN EN 205-2003. – Введ. 21.11.2002. – CEN, 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. – CEN, 2001. – 5 с.

## **АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИИ ОБЛЕГЧЕННОГО ЩИТА (ТАМБУРАТА) ПРИ ДЕЙСТВИИ КОНТАКТНЫХ НАГРУЗОК**

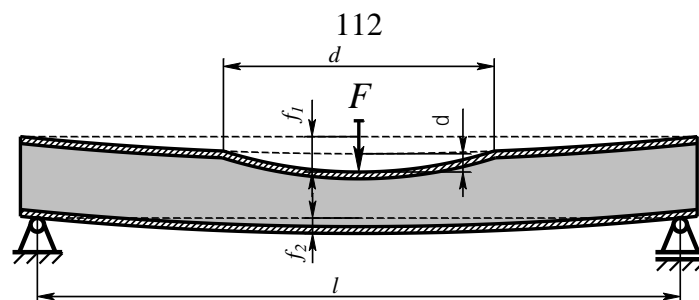
Необходимость удовлетворения населения мебельными изделиями при ограниченных возможностях расширения сырьевой базы выдвигают на первый план проблему рационального использования древесных материалов. В качестве основных конструкционных материалов при производстве корпусной мебели используют древесностружечные плиты (ДСтП) и древесноволокнистые плиты средней плотности (МДФ).

Рациональными конструкциями с точки зрения материалоемкости являются трехслойные облегченные щиты, при изготовлении которых в качестве заполнителя могут использоваться отходы листовых и плитных материалов, пластмассы и картон. Такие щиты больше применяются при изготовлении дверных полотен, а в мебельном производстве их использование ограничено из-за отсутствия методики выбора внешних обшивок щита и бумажного сотового заполнителя, которая позволяла бы определять напряжения и деформации в щите при действии нагрузок, а на их основе выбирать оптимальные параметры ячеистого щита, обеспечивающие его необходимую прочность и устойчивость. За рубежом щиты с сотовым заполнением используются достаточно широко.

Малая устойчивость заполнителя на сжатие и низкая жесткость обшивок на изгиб, обуславливают низкую прочность трехслойных щитов под воздействием контактных нагрузок. При выполнении экспериментальных работ использовалась схема нагружения сосредоточенным нормальным к плоскости щита усилием  $F$ . Щит свободнооперт по контуру. Схема деформирования щита при воздействии нагрузки показана на рисунке 1 [1, 2, 3].

Исследования проводили в лабораторных условиях на оборудовании кафедры технологии и дизайна изделий из древесины Белорусского государственного технологического университета.

В проводимых экспериментах исследовали облегченные щиты, сконструированные из среднего слоя бумажного сотового заполнителя высотой от 15 до 35 мм (размер ячеек сот 15, 25 и 35 мм, плотность бумаги 110 г/м<sup>2</sup>) и тонких поверхностных обшивок из ДВП (плотность 804 кг/м<sup>3</sup>) толщиной 3,0 мм.



$f_1$  – перемещение точки приложения нагрузки  $F$ ;  $f_2$  – прогиб щита;  
 $\delta$  – прогиб обшивки;  $d$  – диаметр поврежденной зоны

**Рисунок 1 – Схема деформирования щита от сосредоточенной нагрузки в разрезе**

В качестве показателей прочности щита при локальном сжатии использовали величину разрушающей нагрузки. Критерием разрушения от смятия является равенство местного прогиба обшивки и допустимых деформаций на сжатие для материала:

$$\delta \leq \delta_{кр}. \quad (1)$$

В рамках эксперимента местный прогиб определяли через вертикальное перемещение точки приложения нагрузки  $F - f_1$  и прогиб щита  $f_2$  по формуле:

$$f = f_1 - f_2. \quad (2)$$

При достижении прогибом  $f$  критической величины фиксировали значение нагрузки  $F_{кр}$  и диаметр поврежденной зоны  $d_{кр}$ , при котором сотовый наполнитель терял устойчивость. Так как в данном случае после снятия нагрузки обшивка возвращалась в первоначальное положение за счет упругих свойств, на внешнем виде щита данный способ разрушения не сказывался, наблюдалось изменение твердости щита в месте приложения нагрузки на площади диаметром  $d_{кр}$ . При дальнейшем увеличении нагрузки сопротивление возрастало вплоть до момента разрушения обшивки. Фиксировали характер разрушения, величину максимального усилия  $F_{max}$  и диаметр поврежденной области  $d_{max}$ . После снятия нагрузки обшивка не возвращалась в исходное состояние, на поверхности щита наблюдалась вмятина диаметром  $d_{max}$ . В точке приложения нагрузка происходит разрыв обшивки от растягивающих напряжений.

В результате исследований выявлены два механизма разрушения щита: местное смятие наполнителя под точкой приложения нагрузки и разрушение материала обшивки. Такой характер поведения обусловлен низкими показателями жесткости материала обшивки на местный изгиб и сотового наполнителя. Полученные данные дают возможность проектировщику оптимизировать конструкцию изделий по предельным нагрузкам с целью перераспределения сосредоточенных нагрузок,



и усиления локальных зон, и за счет введения дополнительных вставок жесткости в конструкцию облегченного щита диаметром не менее  $d_{\max}$ .

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ставров В. П. Механика композиционных материалов: Учеб. Пособ. Для студентов машиностроительных специальностей. – Минск: БГТУ, 1996. – 164 с.
2. Рудицын М. Н. Справочное пособие по сопротивлению материалов: изд. третье, перераб. и дополн. / М. Н. Рудицын, П. Я. Артемов, М. И. Любошиц. – Минск: «Вышэйшая школа», 1970. – 630 с.
3. Наливко Е. В. Расчет прочности щитов с бумажным сотовым наполнителем/ С. В. Шетько, А. В. Спиглазов, Е. В. Наливко. – Архитектура и строительные науки – 2010 – №1 – С. 58-61.

УДК 667.635:674.21

В.В. Прокуда, магистрант,  
А.С. Чуйков, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

### **ФОРМИРОВАНИЕ ЛАКОКРАСОЧНЫХ ПОКРЫТИЙ МЕБЕЛЬНЫХ ДЕТАЛЕЙ С УЛУЧШЕННЫМИ ЗАЩИТНО-ДЕКОРАТИВНЫМИ СВОЙСТВАМИ**

Производство высококачественных изделий из древесины в основном определяется технологическим режимом формированием защитно-декоративных покрытий. Создание покрытий в настоящее время осуществляется преимущественно нанесением различных видов лакокрасочных материалов (ЛКМ).

Отделка древесины жидкими лакокрасочными материалами отличается большим разнообразием, как технологических процессов, так и материалов. Связано это с необходимостью отделки изделий различного вида и назначения. Для получения покрытий высокого качества в последнее время используются в основном импортные лакокрасочные материалы. Зарубежные производители предлагают целые комплексы лакокрасочных материалов для выполнения большинства стадий процесса отделки. При этом в недостаточной степени учитываются свойства древесины, существенно влияющие на качество производимой продукции.

Поскольку древесина относится к анизотропным материалам, имеет неоднородное анатомическое строение и химический состав, то при взаимодействии с красителем происходит неравномерное окрашивание поверхности и увеличение шероховатости. Поэтому при использовании типовых технологических схем, в которых даны общие рекомендации по отделке, довольно сложно получить высококачественные изделия.

Часто производителям, использующим красители на водной и нитро основе, после их нанесения, приходится сталкиваться с таким дефектом покрытия как «яблочность», то есть неравномерность интенсивности окрашивания.

Возникающую проблему решают за счет использования древесины высшего сорта и вуалирования текстуры поверхности за счет использования патины. Данные действия, как правило, приводят к увеличению трудозатрат в технологическом процессе, повышению расхода лакокрасочных материалов и, как следствие, – к увеличению себестоимости готовой продукции.

Целью данной работы являлось улучшение свойств защитно-декоративных покрытий, сформированных на поверхности мебельных деталей, направленное на получение продукции с требуемым уровнем качества.

Опираясь на исследования эффективности применения технологии терморadiационного нагрева [1, 2] в деревообработке, принято решение о предварительном нагреве древесных поверхностей при помощи инфракрасных галогеновых излучателей с красной кварцевой колбой.

Эксперимент заключался в оценке влияния предварительного нагрева древесных поверхностей на смачиваемость поверхности при нанесении красителей на водной и органической основе [3]. Использование методики тепловизионного обследования поверхности позволило выявить зависимости температуры нагрева поверхности от времени, а также визуально установить распределение тепловой энергии по поверхности образцов. Установлено, что поверхность древесины темного оттенка нагревается быстрее за менее короткое время, чем светлого. Это обусловлено тем, что более темная древесина поглощает больший спектр падающего электромагнитного излучения, вызывающего больший нагрев поверхности.

Исследования, связанные с дальнейшим нанесением красителя на предварительно нагретую поверхность, привели к следующим результатам. При нагреве образцов до 30°C и дальнейшем нанесении на их поверхность лакокрасочных материалов визуально установлено улучшение растекаемости используемых ЛКМ по поверхности и как следствие отсутствие дефекта «яблочности». Дальнейший нагрев поверхности и нанесение лакокрасочных материалов приводили к их преждевременной сушке. При этом нанесенное покрытие не успевало растечься равномерно и вызывало ухудшение декоративных свойств окрашиваемой поверхности. Предварительный нагрев поверхности до температуры 25°C не привел к должному эффекту.

При проведении энергетического обследования поверхности образцов установлена продолжительность нагрева поверхности до 30°C,

которая составила 3 мин, при расстоянии от излучателя до поверхности древесины, равном 500 мм. Мощность источника излучения – 1000 Вт. Температура нагрева нити накала – около 2000°С.

На рисунке представлены поверхности образцов с нанесенным красителем. В случае *а* предварительный нагрев не осуществлялся. Образец, представленный на изображении *б*, подвергнулся предварительному терморadiационному нагреву в течение 3 мин с последующим нанесением красителя.



*а* – до нагрева поверхности древесины (с дефектом «яблочность»);  
*б* – после нагрева поверхности древесины до 30°С

### Рисунок 1 – Лакокрасочные покрытия

По результатам проведенных исследований предложены режимные параметры формирования лакокрасочных покрытий мебельных деталей с улучшенными защитно-декоративными свойствами, которые могут быть использованы деревообрабатывающими предприятиями с целью улучшения качества выпускаемой продукции.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Чуйков, А. С. Эффективность применения терморadiационного отверждения лакокрасочных покрытий столярно-строительных изделий / С. А. Прохорчик, А. С. Чуйков // Вісник ХНТУСГ. – 2015. – Вип. 160. – С. 67-71.
2. Чуйков, А. С. Разработка конструкции модуля терморadiационной камеры для сушки лакокрасочных покрытий столярно-строительных изделий / А. С. Чуйков, С. А. Прохорчик // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – 2018. – № 1. – С. 64 -70.
3. Слободкин, Л. С. Методы определения терморadiационных свойств полимерных покрытий / Л. С. Слободкин, Ю. М. Сотников-Южик. – Минск: Наука и техника, 1977. – 160 с.

А.С. Чуйков, ст. преп., канд. техн. наук;  
Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
В.В. Тулейко, ген. директор, канд. техн. наук  
(ОАО «Речицадрев», г. Речица)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ДЕКОРАТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ МЕБЕЛИ**

При проектировании современной мебели важно учитывать ряд требований, которые оказывают непосредственное влияние на жизненный цикл изделия. К ним можно отнести использование качественных материалов и фурнитуры, учет современных тенденций в дизайне, надежность конструкции проектируемых изделий, снижение трудоемкости производственных процессов и многое другое. Использование современных программных продуктов автоматизированного проектирования позволяют решать целый ряд инженерных задач.

Процесс производства любого изделия мебели довольно сложен и включает различные подготовительные этапы, такие как художественная проработка эскиза изделия, создание конструкторской документации, изготовление прототипа или опытного образца и т.д.

Современные компьютерные программы трехмерного моделирования, такие как Autodesk 3Ds MAX, упрощают, сокращают и даже исключают некоторые вышеописанные этапы, позволяя в значительной мере сэкономить время, материальные и финансовые ресурсы.

Одним из наиболее востребованных сегментов рынка является классическая мебель с использованием приемов декорирования (элементов сложной формы) под исторические стили. Изготовление подобных деталей подразумевает использование дорогостоящего оборудования, привлечение высококвалифицированных работников предприятий, увеличение материальных затрат и продолжительности производственного цикла.

Для снижения трудоемкости и упрощения вышеописанных процессов в мировой практике применяют аддитивные технологии – группы технологических методов производства изделий и прототипов, основанных на поэтапном формировании изделия путём добавления материала на основу (платформу или заготовку). Широкое распространение в области 3D печати получила технология FDM (Fused deposition modeling) – моделирование методом наплавления. Технология FDM подразумевает создание трёхмерных объектов за счёт нанесения последовательных слоёв материала, повторяющих контуры цифровой модели. Как правило, в качестве материалов для печати выступают термопластики, поставляемые в виде катушек нитей или прутков [3].

Процесс аддитивного изготовления моделей декоративных элементов мебели подразделяется на несколько основных этапов: создание виртуальной твердотельной модели изделия в специальном программном обеспечении; разработка управляющих программ для оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ); создание твердотельных трехмерных графических образов декоративных элементов методом 3D-печати на 3D принтерах.

Современные системы автоматизированного проектирования позволяют создавать в виртуальной среде любые изделия, включая самые сложные и трудоемкие. Использование программ позволяет снизить риски, связанные с ошибками и просчетами оператора-конструктора, еще на этапе виртуального проектирования.

В последнее время изготавливать декоративные элементы можно и альтернативным способом [3], позволяющим также повысить эффективность существующих технологических процессов. К нему можно отнести изготовление пресс-форм декоративных элементов на 3D принтере. В дальнейшем полученные формы обрабатываются и заполняются такими материалами, как полиуретан, древесная паста, пенополиуретан и др.

Мебельный декор из полиуретана по фактуре и плотности практически соответствует дереву, не выделяет запаха, экологически чист, с течением времени исключает растрескивание, усыхание, обладает высокой водостойкостью, что позволяет его использовать в мебели и интерьере ванных комнат. Благодаря своим преимущественным физико-химическим и, что немаловажно, экономическим свойствам перед древесиной, это инновационное направление по праву начинает занимать лидирующие позиции в области декорирования.

Современные аддитивные технологии представляют собой полный пакет интегрированных решений, начиная от профессионального оборудования и материалов и до специализированного программного обеспечения. Внедрение подобных технологий и оборудования на мебельных предприятиях Республики Беларусь позволит обеспечить высокое качество продукции, снизить ее себестоимость и повысить конкурентоспособность.

## ЛИТЕРАТУРА

1. 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.

И. К. Божелко, доц., канд. техн. наук;  
А. А. Коновалова, магистрант  
(БГТУ, г. Минск)

## **ПОЛИГОННЫЙ СПОСОБ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ АНТИСЕПТИКОВ ДЛЯ ДРЕВЕСИНЫ**

Каждый год Республика Беларусь наращивает объемы экспорта продукции деревообработки. Наибольший объем выручки аккумулируется при помощи экспорта пилопродукции. В связи с ростом выпуска и экспорта пилопродукции, перед деревообрабатывающими предприятиями ставится задача увеличения выхода чистой, качественной древесины с минимальными затратами. Для решения данной задачи предприятия используют различные антисептические средства для защиты древесины, сохранения ее внешнего вида и основных физико-механических характеристик. Но возникает вопрос, как выбрать наиболее эффективный транспортный антисептик, так как в настоящее время на рынке существует большое количество средств для защиты древесины.

Проведение полигонных испытаний позволяет в реальных условиях оценить эффективность работы используемых транспортных антисептиков.

Древесина, используемая для проведения испытаний, не должна иметь трещин, пятен, гнилей, повреждений насекомыми и других дефектов. Перед проведением испытаний древесина не должна храниться в воде и подвергаться химической обработке или пропарке. Образцы древесины для испытаний должны изготавливаться из заболонной части древесины с небольшим содержанием смолы.

Испытания проводятся в течение 24 часов после подготовки образцов древесины.

Половина образцов испытываются в виде плотных пакетов, а половина - в открытом виде, с использованием прокладок.

Растворы испытываемых защитных составов приготавливаются путем добавления требуемого количества концентрата в пропиточную ванну с водой, а после тщательно перемешиваются механическим способом.

Все растворы испытываемых защитных составов должны быть свежеприготовленными. Для проведения испытаний не допускается использовать растворы ранее приготовленных защитных средств.

После обработки испытываемыми транспортными антисептиками образцы древесины помещаются на площадки для проведения испытаний, которые должны подбираться таким образом, чтобы на них отсутствовали опилки, стружки и другие промышленные загрязнения, а так же, чтобы любая растительность была на уровне ниже уровне верхушек опор, на которых располагаются испытываемые образцы древесины.

Для получения более достоверных данных рекомендуется проводить испытания не только на открытых площадках, но и в парниковых условиях.

В соответствии с рекомендациями европейских стандартов испытания должны проводиться на протяжении не менее 3 месяцев.

При проведении оценки эффективности верхние слои испытываемых образцов не оцениваются, но должны сохраняться до конца проведения испытаний. Каждый испытуемый образец детально осматривается и дается оценка, основанная на росте древоокрашивающих и плесневых грибов, видимом на двух широких гранях, с использованием системы оценок, основанной на площади поражения поверхности образцов.

По результатам данной оценки делаются выводы по эффективности испытываемых защитных средств и разрабатываются рекомендации по использованию испытываемых составов для получения наибольшего выхода чистой пилопродукции.

## РАСХОД ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ ПРОГРЕВЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ

В настоящее время в условиях постоянного повышения цен на энергоносители весьма актуальной представляется задача экономии тепловой энергии в процессе обработки древесины. Как известно, одной из наиболее энергозатратных операций деревообработки является сушка пиломатериалов. При этом существенная часть энергии расходуется не на саму сушку, а на проведение начального прогрева.

В таблице 1 представлена структура расхода тепловой энергии при проведении цикла сушки сосновых досок толщиной  $S = 25$  мм в камере периодического действия марки СМ–35 фирмы «Incorlan» (Италия) для среднегодовых условий Минской области.

**Таблица 1 – Структура расхода тепловой энергии при проведении цикла сушки в камере СМ–35«Incorlan» (Италия)**

Статья расхода теплоты	Доля расходуемой тепловой энергии, %	
	Для среднегодовых условий	Для зимних условий
Прогрев материала	8,9	16,9
Испарение влаги	82,1	70,2
Потери через ограждения	9,0	12,9
Итого:	100	100

Как видно из таблицы, доля энергозатрат на начальный прогрев материала варьирует в диапазоне 9–16%, существенно возрастая в зимний период [1].

Основным фактором, влияющим на расход тепловой энергии, является режим, по которому производится прогрев пиломатериалов. Режимы прогрева пиломатериалов в сушильных камерах периодического действия с теплоносителем пар регламентируются ГОСТ 19773–84. Кроме стандартных, на большинстве предприятий нашей страны используют нестандартные режимы прогрева, которые рекомендованы зарубежными производителями сушильных камер, которые в качестве теплоносителя используют горячую воду. Соответственно, в таких



условиях прогрев проводится в ненасыщенной среде. Целью данной работы являлось определение расхода тепловой энергии на прогрев пиломатериалов при использовании различных режимов, а также определение влияния параметров режима на расход энергии

Для проведения расчетов были приняты следующие исходные данные. Сушильная камера – LAUBER, которая имеет внутренний объем  $V = 477 \text{ м}^3$  и вместимость  $E = 100 \text{ м}^3$ . В качестве прогреваемого материала рассматривали сосновые пиломатериалы толщиной 40 мм, имеющие начальную влажность  $W_n = 60\%$ . Прогрев проходил при температуре агента обработки  $40^\circ\text{C}$ ,  $60^\circ\text{C}$  и при степени насыщенности  $\varphi=0,7; 0,8; 1$ .

Известно, что при прогреве в ненасыщенной среде имеет место испарение влаги с поверхности пиломатериалов, что говорит о том, что тепловая энергия тратится не только на прогрев, но и на испарение влаги [2]. Расчетные формулы для определения расхода тепловой энергии при прогреве в среде с  $\varphi=1$  и  $\varphi=0,7; 0,8$  имеют следующий вид: Для насыщенной среды:

$$q = \rho_d \cdot c_d \cdot (t_{\text{нп}} - t_0) \cdot E_{\text{шт}}, \text{кДж} \quad (1)$$

Для ненасыщенной среды:

$$q = c \cdot D \cdot (t_2 - t_1) + i \cdot D + \rho_d \cdot c_d \cdot (t_{\text{нп}} - t_0) \cdot E_{\text{шт}}, \text{кДж} \quad (2)$$

где  $\rho_d$  – плотность древесины расчетного материала,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $c'$  – удельная теплоемкость воды,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $c_d$  – удельная теплоемкость древесины в диапазоне температур от  $t_0$  до  $t_{\text{нп}}$ ,  $\text{кДж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$ ;  $D$  – масса влаги, испаряемой за время начального прогрева,  $\text{кг}$ ;  $E_{\text{шт}}$  – вместимость камеры,  $\text{м}^3$ ;  $t_0$  – начальная температура древесины,  $^\circ\text{C}$ ;  $t_{\text{нп}}$  – температура начального прогрева,  $^\circ\text{C}$ .

Результаты расчета представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Результаты расчетов**

Температура начального прогрева, $t_{\text{нп}}, ^\circ\text{C}$	40	60	80
Расчетная температура, $^\circ\text{C}$	22,75	32,75	42,75
Удельная теплоемкость древесины $c_d$ , $\text{кДж}/\text{кг} \cdot \text{K}$	2,77	2,805	3,08
Удельная энтальпия пара, $\text{кДж}/\text{кг}$	2574	2609	2643

Относительная влажность воздуха $\varphi$	1	0,8	0,7	1	0,8	0,7	1	0,8	0,7
Масса влаги в камере $D$ , кг	0	15,25	13,202	0	43,6	37,18	0	130,87	106,4
Расход энергии на прогрев древесины, тыс кДж	6116,2	6157,6	6152,1	9783,8	9907,548	9889,332	14685,44	15072,18	14999,87

Анализируя данные, представленные в таблице 2, можно сделать следующие выводы: наибольшее влияние на расход энергии при прогреве оказывает температура обрабатываемой среды. Степень насыщенности  $\varphi$  практически не оказывает влияние на величину расхода тепловой энергии.

Эти данные могут быть использованы при разработке энергосберегающих режимов начального прогрева в ненасыщенной среде.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Рудак О. Г., Снопков В. Б. Исследование начального прогрева древесины без дополнительного увлажнения обрабатываемой среды // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообаб. пром-сть. С. 212–214.
2. Рудак О. Г., Гуз Ю. А., Снопков В. Б. Исследование напряженно-деформированного состояния древесины при прогреве в ненасыщенной среде // Энерго- и материалосберегающие экологически чистые технологии: тез. докл. IX Междунар. науч.-техн. конф. Гродно: ГрГУ, 2011. С. 30–31.

О.Г. Рудак, ст. преп. кафедры ТДИД;  
Д.П. Бабич, ст. преп. кафедры ТДП  
(БГТУ, г. Минск)

## **ОСОБЕННОСТИ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛО- И МАССОПЕРЕНОСА ПРИ ПРОГРЕВЕ ДРЕВЕСИНЫ В НЕНАСЫЩЕННОЙ СРЕДЕ**

Основным назначением операции начального прогрева является доведение температуры пиломатериалов, предназначенных для сушки, до температуры сушильного агента. В теории гидротермической обработки древесины искусственное блокирование начала процесса сушки пиломатериалов в период прогрева считается достоинством, поскольку ранние исследования показали, что сушка непрогретой древесины может привести к образованию трещин на поверхности материала.

Современные технологии сушки предполагают использование режимов начального прогрева, при которых степень насыщенности обрабатываемой среды  $\varphi < 1$ , разница показаний психрометра  $\Delta t$  не превышает  $5^\circ\text{C}$ , а температура прогрева устанавливается на уровне, не превышающем температуру сушки на первой ступени режима сушки. Как правило, это не более  $70^\circ\text{C}$ . Следует отметить, что при таких условиях, интенсивность испарения влаги с поверхности сортиментов и перемещение ее из внутренних более влажных слоев к наружным значительно ниже, чем в процессе непосредственно сушки пиломатериалов.

Известно, что при прогреве в ненасыщенной среде возникают и совместно протекают следующие явления переноса тепла и массы (влаги) [1]:

- 1) поглощение тепла от агента обработки поверхностью материала – теплообмен;
- 2) перемещение тепла по материалу – теплопроводность;
- 3) испарение влаги с поверхности материала – влагообмен;
- 4) перемещение влаги по материалу – влагопроводность.

Известно, что при неизотермических условиях в древесине имеет место перенос влаги из мест с большей температурой, в места с меньшей. Если образец древесины с влажностью, одинаковой по сечению, поместить в неравномерное температурное поле, в результате чего будет наблюдаться перепад температур на противоположных сторонах образца, то начнется перераспределение влажности на поверхности и внутри. На участках с меньшей температурой, влажность древесины увеличится, а с

большой – уменьшится. При этом в образце возникает градиент влажности, под действием которого влага будет стремиться к перемещению в направлении, противоположном направлению потока влаги. Влага по объему сортимента всегда движется в сторону убывающей влажности. При определенном соотношении между влажностным и температурным градиентами эффект влагопроводности полностью компенсирует эффект термовлагопроводности, и по сечению образца установится стационарное поле температуры и влажности [2].

Совместное протекание процессов теплообмена и массообмена называется *тепломассообменом*.

Решение задач теплопроводности связано с определением поля температур и тепловых потоков. При выводе дифференциального уравнения теплопроводности считаем, что тело однородно и изотропно (то есть физические свойства тела не зависят от выбранного в нём направления), физические параметры  $\lambda$ ,  $c$  (теплоемкость) и  $\rho$  (плотность) постоянны, внутренние источники теплоты равномерно распределены в теле. Общий уравнения теплопроводности имеет вид:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \cdot \nabla^2 \cdot t + \frac{q_v}{c \cdot \rho} \quad (1)$$

Это уравнение называется дифференциальным уравнением теплопроводности или уравнением Фурье и лежит в основе математической теории теплопроводности, которое описывает в самом общем виде все без исключения задачи теплопроводности. Для решения конкретной задачи необходимо к дифференциальному уравнению присоединить математическое описание частных ее особенностей. Эти дополнительные данные, которые характеризуют конкретное единичное явление, называются краевыми условиями, или условиями однозначности.

Для процесса начального прогрева древесины в ненасыщенной среде имеет место изменяющееся во времени и по сечению образца температурное поле. Следовательно, в данном случае необходимо остановиться на граничных условиях третьего рода, когда задаются температура окружающей среды  $t_c$  и законом теплоотдачи между поверхностью тела и окружающей средой – закон Ньютона-Рихмана:

$$d^2 Q_\tau = \alpha \cdot (t_{нов} - t_c) \cdot dF \cdot d\tau \quad (2)$$

где  $t_{нов}$  – температура поверхности тела;  $\alpha$  – коэффициент пропорциональности, называемый коэффициентом теплоотдачи, Вт/(м<sup>2</sup>·К). Коэффициент теплоотдачи численно равен количеству теплоты, отдаваемому или воспринимаемому единицей поверхности в единицу времени

при разности температур между поверхностью тела и окружающей средой в один градус. Этот коэффициент учитывает все особенности явления теплообмена, происходящие между поверхностью тела и окружающей средой. Плотность теплового потока, передаваемого от поверхности тела в окружающую среду,

$$q = \frac{d^2 Q_\tau}{dF \cdot d\tau} = \alpha \cdot (t_{нов} - t_c) \quad (3)$$

Согласно закону сохранения энергии, эта теплота равна теплоте, подводимой к поверхности изнутри тела путем теплопроводности:

$$\alpha \cdot (t_{нов} - t_c) = -\lambda \cdot \left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)_c \quad (4)$$

Перепишав последнее уравнение в виде:

$$\left( \frac{\partial t}{\partial n} \right)_c = -\frac{\alpha}{\lambda} \cdot (t_{нов} - t_c) \quad (5)$$

Таким образом, получаем математическую формулировку граничных условий третьего рода. В результате решения уравнения (5) можно найти температурное поле, а на основании закона Фурье – соответствующие тепловые потоки.

Дифференциальное уравнение теплоотдачи имеет вид:

$$\alpha = -\frac{\lambda}{(t_{нов} - t_c)} \cdot \left( \frac{\partial t}{\partial y} \right)_{y=0} \quad (6)$$

Данные уравнения теплообмена могут быть использованы при разработке методик компьютерного моделирования процесса начального прогрева древесины в ненасыщенной среде на основе анализа решения системы дифференциальных уравнений в частных производных.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Рудак О. Г., Короб А. Ю. Исследование характера изменения влажности поверхностных и внутренних слоев древесины сосны при прогреве в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. - Минск : БГТУ, 2021. - № 1 (234). С. 162–169.

2. Рудак О.Г. Исследование явления термовлагопроводности при прогреве древесины в ненасыщенной среде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. - Минск : БГТУ, 2020. - № 2 (234). С. 233–238.

УДК 674.047.3

Д. П. Бабиц, ст. преп.; И. И. Веретиков, ассист. (БГТУ, г. Минск)

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИНВЕРТОРОВ ДЛЯ ЭКОНОМИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПРИ СУШКЕ ПИЛОМАТЕРИАЛОВ В КОНВЕКТИВНЫХ СУШИЛЬНЫХ КАМЕРАХ

Сушка древесины является обязательным технологическим процессом в цепочке обработки древесины от исходного сырья до готовых изделий. В подавляющем большинстве случаев сушка пиломатериалов производится в конвективных камерах. В таких камерах подвод тепла к высушиваемому материалу и отвод от него испарившейся влаги производится сушильным агентом, который перемещается у поверхности материала. Перемещение сушильного агента обеспечивают вентиляторы, установленные в сушильной камере. Обычно используются осевые реверсивные вентиляторы. Вентиляторы в камере работают на протяжении всего процесса сушки, соответственно и электрическая энергия на их привод расходуется во время всего процесса сушки. В работе [1] проанализированы данные об удельной установленной мощности привода вентиляторов в конвективных сушильных камерах периодического действия в зависимости от вместимости камеры в условном материале, в результате была получена расчетная формула:

$$N_{\text{уд}} = 0,49 \cdot e^{-\frac{E_{\text{к}}}{25,21}} + 0,17. \quad (1)$$

Простой расчет показывает, что в камере вместимостью 50 м<sup>3</sup> условного материала удельная мощность привода вентиляторов должна составлять 0,237 кВт/м<sup>3</sup>, в таком случае общая установленная мощность составит 11,85 кВт, округляем до 12,0 кВт.

Определим расход электрической энергии на сушку пиломатериалов из древесины сосны толщиной 50 мм с использованием режима сушки, разработанного французской фирмой Cathild. Продолжительность цикла сушки заданных пиломатериалов от начальной влажности 60% до конечной 12%, рассчитанная графоаналитическим методом, составляет 136,99 ч. Тогда расход электрической энергии на привод вентиляторов во время сушки составит: 12 · 136,99 = 1643,88 кВт·ч.

Самым современным способом уменьшения расхода электрической энергии при сушке пиломатериалов является оборудование сушильных камер приборами, регулирующими частоту вращения привода вентиляторов – инверторами. Данные приборы позволяют умень-

шать частоту вращения вентиляторов, когда это возможно согласно режиму сушки или по итогам инженерных расчетов, и, тем самым, сокращать расход электрической энергии на привод вентиляторов. Причем, согласно информации представленной в [2], сокращение частоты вращения вентилятора приводит к уменьшению потребляемой мощности в третьей степени. Отметим, что режим сушки предусматриваем сокращение частоты вращения вентиляторов в процессе сушки. С учетом этого рассчитаем расход электрической энергии для заданного материала в камере, оборудованной инвертором (таблица).

**Таблица – Расчет расхода электрической энергии на сушку пиломатериалов в камере, оборудованной инвертором**

Технологическая операция	Влажность древесины, %	Продолжительность ступени, ч	Процент от номинальной частоты вращения вентиляторов, %	Расход электроэнергии, кВт·ч
Нагрев	60	2,00	49,0	2,82
Прогрев	60	3,00	80,0	18,43
Сушка	60-50	1,16	90,0	10,15
	50-40	18,69	90,0	163,5
	40-35	11,34	90,0	99,2
	35-30	13,25	80,0	81,41
	30-27	9,01	75,0	45,61
	27-24	10,8	65,0	35,59
	24-21	11,41	55,0	22,78
	21-18	13,34	50,0	20,01
	18-15	15,74	49,0	22,22
	15-12	20,25	49,0	28,59
Стабилизация	12	3,00	49,0	4,24
Охлаждение	12	2,00	70,0	8,23
Итого				562,78

Как видим, использование инвертора позволяет сократить расход электрической энергии на  $1643,88-562,78=1081,1$  кВт·ч или на 65,77%.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Донченко, Л. Ф. Влияние вместимости сушильных камер на количество и мощность привода вентиляторов / Л. Ф. Донченко, Д. П. Бабич // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2009. – Вып. XVII. – С. 186–189.
2. Мазаник Н. В. Пути снижения расхода электроэнергии при сушке пиломатериалов в камерах периодического действия / Н. В. Мазаник, Д. П. Бабич, О. Г. Рудак // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. – 2014. – Вып. XXII. – С. 107-110.

УДК 674.836

И.Г. Федосенко, доц., канд. техн. наук;  
Е.В. Дубоделова, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
Е.В. Коробко, проф., доктор техн. наук;  
В.А. Кузьмин, вед. науч. сотр., канд. техн. наук (ИТМО НАН Б, г. Минск)

### **ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТОПЛИВНЫХ ГРАНУЛ ИЗ КОРЫ ДЕРЕВЬЕВ ХВОЙНЫХ ПОРОД**

Отходы лесоперерабатывающей промышленности в виде древесной коры не учитываются в балансе предприятия и мало востребованы. Кора составляет 6–25% объема ствола, поэтому целесообразно вовлекать в товарный объем отходы окорки древесины. Проблема переработки древесной коры в энергоносители остается нерешенной и актуальной во всем мире. Древесная кора может эффективно использоваться в решении энергетических проблем, однако применение ее в качестве основы для производства энергоэффективного топлива возможно при разработке новых подходов и технологий. Основная часть отходов в виде древесной коры остается практически невостребованной, скапливается на территориях предприятий, вывозится в отвалы, свалки, что ухудшает экологическую и пожароопасную обстановку региона. В тоже время проблема утилизации древесной коры при больших запасах остается нерешенной, так как процесс ее подготовки для дальнейшего эффективного использования является более трудоемким, по сравнению с мягкими древесными отходами (стружка, опилки). Из-за особенностей строения, сложности технологической подготовки к утилизации, древесная кора пока не нашла широкого применения, хотя имеет перспективные направления использования.

В настоящее время использование возобновляемых источников энергии (включая биомассу, гидроэнергию, ветровую, солнечную тепловую, геотермальную энергию) в странах Европейского Союза (ЕС) зависит от региона и варьируется от 6% до 20%. Страны ЕС проводят кампании, направленные на развитие сферы возобновляемой энергетики, с целью оказания содействия в широкомасштабном использовании возобновляемых энергоресурсов для производства энергии и удвоения доли возобновляемых источников энергии в балансе энергопотребления. Одним из перспективных направлений является обеспечение большего доступа к улучшенным видам топлива (таким, как гранулированная древесина) и более интенсивное использование соответствующих лесосечных отходов и отходов деревообрабатывающих целлюлозно-бумажных предприятий. Минерально-сырьевая база Республики Беларусь не в состоянии удовлетворить текущие и перспективные



потребности народного хозяйства в топливно-энергетических ресурсах. Добываемые в сегодня нефть и торф, а также древесное биосырье покрывают 15–17 % общей потребности в котельно-печном топливе. Ежегодно у нас потребляется более чем 30 млн. т у. т., при этом добыча из природных источников – прежде всего нефти, попутного газа, торфа, дров – составляет всего лишь 5 млн. т у. т. Важным потенциальным ресурсом при таком балансе собственного и импортируемого энергетического сырья может стать биотопливо. Поэтому одним из важных направлений инновационной деятельности для республики является совершенствование топливно-энергетического комплекса за счет вовлечения в структуру действующего энергетического хозяйства экологически чистых возобновляемых источников энергии. В соответствии с прогнозом, разработанным Мировым энергетическим советом (МЭС), в 2050 году потребление энергии возрастет более чем в два раза. При этом более 40 % энергетических потребностей будет покрываться за счет возобновляемых источников энергии, в том числе 32 % составит вклад биоэнергетики. Очевидно, что развитие биоэнергетики получит приоритетный статус, что является исключительно актуальным и для Беларуси, природные условия которой в полной мере соответствуют реализации данного направления. Суммарная площадь лесных земель государственного лесного фонда Беларуси и земель, покрытых древесно-кустарниковой растительностью, составляет приблизительно 8,5 млн. га. Объем древесных остатков, которые могут быть определены как сопутствующая лесная продукция, зависит от состояния леса, его возраста, видов деревьев и т.д. В соответствии с опытом производства такого рода продукции в зарубежных странах ее объем в республике может составить от 2 до 3 т с гектара леса. Себестоимость единицы энергии, полученной от альтернативных источников, сегодня несколько выше по сравнению с традиционными энергоносителями. Тем не менее, зарубежный опыт подтверждает, что с развитием и совершенствованием производственных технологий себестоимость альтернативного топлива неуклонно снижается при постоянном возрастании цены традиционных источников. Перспективная выгода от внедрения возобновляемых источников энергии включает такие направления, как социальное и экономическое развитие, сохранение и восстановление земель, снижение загрязнения воздуха, поддержание биоразнообразия и т.д.

Сжигание коры может быть источником энергии. На энергетическое использование коры деревьев в основном влияет ее зольность, которая намного выше, чем у древесины. Харкин и Роу [1] показали, что средняя теплотворная способность 10 т полностью высушенной коры равна теплотворной способности 7 т угля. Теплотворная способность

коры на килограмм аналогична древесине и составляет от 16,20 до 16,23 МДж/кг [2]. Отходы коры, производимые в большом количестве, обычно имеют высокое содержание влаги, что значительно снижает эффективность использования энергии, поскольку большая часть энергии требуется для испарения содержащейся влаги. Кора с чистым содержанием влаги более 60% не может быть эффективно сожжена [3]. При использовании коры в виде брикетов ее обычно смешивают с соломой и опилками. Добавление воска увеличивает прочность брикетов из биомассы, но также может снизить содержание влаги. Наиболее важными характеристиками брикетов, являются высокая плотность и компактность (от 1,0 до 1,3 г/см<sup>3</sup>) [4]. Чем больше коры в смеси с древесиной, тем выше зольность; лучшим классом качества была 10% смесь с 0,7% зольностью [5].

В качестве эксперимента для получения современного биотоплива были получены гранулы из корковой части коры сосны, произрастающей в республике Беларусь. Кора имела начальную влажность около 60 % и фракционный состав 0,5–20 мм. По результатам испытаний, зольность гранул составила – 2,31%, содержание мелкой фракции – 0,1 %, устойчивость к истиранию – 94,7 %, влажность – 10,9 %. Радиационный фон гранул, определен на гамма-радиометре РКГ-АТ1320А и составил 45,61±18,88 Бк/кг по Cs. Эти показатели не соответствуют гранулам по ENPlusv3 (ISO 17225-2) по зольности (превышение 0,31 %), устойчивости к истиранию (превышение 2,8 %), влажности (превышение 0,9 %). Однако, как и предполагается, стандарт действует на древесные гранулы. Использование, же коры, как более хрупкого и зольного материала показало, как мы считаем неплохие результаты.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Harkin J.M., Rowe J.W. Bark and its possible uses. USDA. Forest Service, Research note, FPL-091, Forest Products Laboratory, 1971. 56 p.
2. Dibdiakova J., Gjølshj S., Wang L. Solid biofuels from forest — fuel specification and quality assurance. Inherent properties of Norway spruce biomass in some geographical locations in South Norway. Report from Norwegian forest and landscape institute, 2014, v. 14/08, 44 p.
3. Molnár S. Faanyagismeret («Wood material science»). Budapest: Mezőgazdasági Szaktudás kiadó, 2004, 471 p.
4. Baroth R. Literature review of the latest development of wood debarking. University of Oulu, Control Engineering Laboratory, 2005, Report A, no. 27, 29 p.
5. Filbakk T., Jirjis R., Nurmi J., Høibø O. The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. Biomass and bioenergy, 2011, no. 35, pp. 3342–3349.

## ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДРЕВЕСНОЙ КОРЫ

Кора составляет в среднем около 13 % объема дерева, но эта цифра варьируется в зависимости от вида и возраста дерева. Так на деревьях ольхи содержится 8 % от стволовой древесины, липы – 14 %, ели, березы и осины – 15 %, сосны и клена – 17 %, ясеня – 19 %, дуба – 22 %, лиственницы – 28 %. Она содержит значительно больше экстрактивных веществ, чем древесина. Клеточный состав коры имеет определенные сходства с древесным составом, но также имеет важные различия. Проводящие питательные вещества ситовые клетки и элементы ситовой трубки имеют тонкостенные и нелигнифицированные частицы, служащие обычно только одному сезону роста. Клетки тканей луба отличаются от клеток корки повышенным содержанием урсонных кислот и пентозанов, отсутствием суберина. Содержание целлюлозы и гемицеллюлозы в коре ниже, чем в древесине, а свойства лигнина различны. Тепловые свойства и теплотворная способность аналогичны свойствам древесины. Кора обладает низкой прочностью, что ограничивает ее использование (таблица 1).

**Таблица 1 – Физико-механические свойства коры**

Порода дерева	Влажность в свежесрубленном состоянии, абс. %	Базисная плотность, кг/м <sup>3</sup>	Прочность на скалывание при W=40%
Лиственница		280–480	1,4
Осина		430–530	1,28
Ель	108–116	270–730	1,22
Пихта		360–500	1,2
Береза	54–63	730–840	1
Сосна	75–150	290–650	0,95

В Республике Беларусь кора не находит применения в изготовлении изделий потребления из-за ее низкой прочности, высокой начальной влажности и химической активности. Она традиционно утилизируется захоронением на полигоне или сжиганием.

В странах Средиземноморья кора пробкового дуба активно используются для производства изоляционных и декоративных материалов [1, 2]. Кору применяют для изготовления разного рода материалов, среди которых выделяют следующие наиболее современные:

1) Expanded cork (сжатая пробка). Структура прессованного при термической обработке материала из коры пробкового дуба имеет пористость 50%, являются водонепроницаемой. Гранулированную пробку помещают в сосуд с избыточным давлением, анаэробно нагревают до температуры 300°C, прессуют. Полученные блоки удаляют из сосуда и охлаждают до комнатной температуры. После этого раскраивают до требуемых размеров. Область использования такого материала – изоляция стен, полов, потолков, холодильников, труб, дверей. Он также используется для предотвращения образования конденсата, вибрации машинах и т. д. [3].

2) Рулонная техническая пробка (пробковая подложка). Обычно выпускается в рулонах шириной 1000 и 1400 мм и толщиной 2 мм; 2,5 мм; 3 мм; 4 мм; 8 мм; 10 мм. Подложка укладывается под ламинат, линолеум, паркетную доску и щитовой паркет [4].

3) Листы технической пробки. Обычно размеры листа 940×640 мм, толщиной от 2 до 10 мм. Листовая техническая пробка используется для теплоизоляции и звукоизоляции помещений – коэффициент звукопоглощения листовой пробки, измеренный при частоте 2,1 кГц, составляет 0,85. Ею изолируют пол, стены, перекрытия, потолок [4].

Iso Deco Cork Материал Iso Deco Cork – напыляемое пробковое покрытие из гранул коры пробкового дуба – 70%, воды – 20%, целлюлозы – 5% и акриловых полимеров – 5%. После нанесения при высыхании, материал образует эластичное, колеруемое в любой цвет, покрытие [5].

Вывод: кору деревьев в Республике Беларусь можно использовать для производства материалов и изделий, не требующих высокой прочности, либо в составе с другими веществами, создающими несущий каркас.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Натуральная пробка Натуральная пробка [Электронный ресурс] /ISO Decocork – Режим доступа: <http://www.isodecocork.com/ru/oprobk.html>

2. Пробка в интерьере: применение в дизайне, виды пробковых покрытий, цены [Электронный ресурс] / ДИЗАЙНФОТО – Режим доступа: <https://www.dizainfoto.ru/interer/probka-v-interere-primenenie-v-dizajne-vidy-probkovyx-pokrytij-ceny.html>

3. Expanded Cork Isolation Expanded Cork Isolation [Электронный ресурс] / MaterialDistrict – Режим доступа: <https://materialdistrict.com/material/expanded-cork-isolation/>.

4. Изоляционные материалы [Электронный ресурс] / Строительный портал StrPort – Режим доступа: <http://strport.ru/izolyatsionnye-materialy/tekhnicheskaya-probka-osobennosti-materiala-kharakteristiki-i-primeneniye>.

5. Bark and bark products [Электронный ресурс] / Encyclopædia Britannica, Inc. – Режим доступа: <https://www.britannica.com/science/wood-plant-tissue/Bark-and-bark-products>.

УДК 674.047.3

Ген. директор, канд. техн. наук В.В. Тулейко (ОАО «Речицадрев»)  
Л.В. Игнатович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

### **ОСОБЕННОСТИ ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Деревообрабатывающая промышленность Республики Беларусь в последние годы развивается динамично и показывает положительный рост экспорта продукции. Лесное хозяйство полностью обеспечивает отрасль необходимым сырьем, а деревообработка является лидером в плане структурных преобразований и внедряемых технологических инноваций, в нее активно вкладываются инвестиции. Роль деревообрабатывающей промышленности в экономике значительно выросла в результате модернизации базовых предприятий.

В настоящее время в Республике Беларусь, в том числе с участием иностранного капитала, уже функционирует семь заводов по производству фанеры, которая является одним из наиболее востребованных строительных материалов (объем производства фанеры в 2019 году составил 300 тысяч куб.м.). Пять заводов производят древесно-стружечные плиты (в том числе и ламинированных), шесть – древесноволокнистые плиты, которые находят применение в строительстве и производстве мебели. В целом ассортимент выпускаемой продукции предприятий концерна после модернизации значительно расширился, и сегодня охватывает более 80 видов.

Практически вся номенклатура товаров является как импортозамещающей, так и экспортоориентированной. Обеспечивается высокоэффективное использование сырья за счет глубины переработки и применения безотходных технологий. Отходы производства задействованы в энергетике. Построены собственные энерго- и теплоисточники, созданы производства по выпуску щепы, топливных гранул (пеллетов), что позволяет вовлечь в систему переработки практически весь объем

низкосортного сырья. Спрос на пеллеты растет. Значительный интерес представляет рынок Великобритании, они импортируют топливные гранулы на сумму около 4 млрд. долл. Основную часть продукции экспортируют в Польшу, Италию, Германию. Ежегодный объем потребления пеллет в мире превышает 40 млн т. При этом, по оценкам экспертов, с каждым годом этот показатель увеличивается примерно на 1,5 млн т. В списке перспективных и страны Азии. К примеру, Япония заявила о намерении увеличить к 2030 году объемы потребления пеллет в 10 раз (до 20 млн. т.) [1-3].

Можно сделать вывод, что производство продукции деревообработки растет. Объемы экспорта продукции деревообработки выросли в 1,7 раз. Значительную роль здесь сыграло строительство новых предприятий и модернизация старых. Выросла рентабельность продукции, увеличился удельный вес деревообрабатывающей промышленности в общем объеме промышленного производства. Вырос экспорт продукции глубокой обработки, что достигнуто благодаря запрету на экспорт круглого леса.

Рост экспорта, достигнут также благодаря росту продаж именно на рынках дальнего зарубежья, в частности стран Европы. Именно в этом направлении планируется наращивать экспорт.

Согласно статистическим данным концерна «Беллесбумпром» (2019 год) темп роста экспорта деревообрабатывающей продукции составляет 100,2%. Из общего объема произведенной продукции около 75% реализовано на внешние рынки. География экспортных поставок предприятий концерна «Беллесбумпром» охватывает более 60 стран.

Это свидетельствует о востребованности продукции белорусских предприятий на внешних рынках, а также о конкурентности цен на поставляемую продукцию [2,3].

## ЛИТЕРАТУРА

1. Деревообрабатывающая промышленность Республики Беларусь [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://belarusfacts.by> – Дата доступа: 26.11.2020
2. Экспорт пиломатериалов Минлесхоза [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://www.belta.by> – Дата доступа: 01.12.2020
3. Экспорт лесопроизводства Минлесхоза. [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://mlh.gov.by> – Дата доступа: 01.12.2020

## **ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ДРЕВЕСНОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ХИМИЧЕСКОМ МОДИФИЦИРОВАНИИ, НА ОСНОВЕ ОБОБЩЕННОГО КРИТЕРИЯ**

Республика Беларусь обладает уникальным возобновляемым ресурсом. Лесами покрыта около 40% территории страны, что в свою очередь предопределяет широкое развитие деревообрабатывающего производства и в частности столярно-строительных изделий.

Известно, что, твердолиственные породы составляют не более 3,4% от основных лесообразующих пород, в то же время доля мягколиственных пород превышает 33 % (по статистическим данным Министерства лесного хозяйства). Благодаря высокой твердости, прочности и износостойкости древесины твердолиственных пород она является основным сырьем для производства столярно-строительных изделий (паркетных изделий), но ее применение определяет высокую стоимость продукции, вызванную главным образом дефицитом твердолиственных пород древесины [1].

Выше сказанное, предопределяет необходимость разработки новых видов изделий из древесины мягких лиственных пород, а так же технологий, повышающие их физико-механические и эксплуатационные свойства и качества. Один из способов улучшения физико-механических свойств древесины – метод химического модифицирования. Технологии модификации способны изменить химический состав обрабатываемых материалов [1, 2]. Химическое модифицирование древесины синтетическими смолами снижает ее гигроскопичность, водопоглощение и водопроницаемость, уменьшает разбухание, повышает прочность, жесткость и твердость, но часто снижает ударную вязкость. Разработаны рецептуры смол, которые позволяют получить необходимое улучшение свойств без увеличения хрупкости материала [2, 3].

Свойства модифицированной древесины существенно зависят как от вида модифицирующего состава и породы древесины, так и от технологических режимов получения древесно-полимерного материала.

При выборе того или иного вида модифицированной древесины для определенного назначения часто возникает ситуация, когда одни свойства рассматриваемого материала имеют более низкие значения, а другие свойства — более высокие значения по сравнению с другими видами модифицированной древесины. Подобная проблема встает

также при сравнении свойств модифицированной древесины и других материалов (пластмассы, металлы и т.д.). По существу возникает многокритериальная задача определения качества объектов, к которым относится и модифицированная древесина. Такая задача характеризуется набором частных критериев, она достаточно сложна и не всегда имеет решение.

Одним из наиболее известных методов анализа качества различных объектов является метод обобщенного критерия, который позволяет оценивать качество объекта по одному критерию [3].

Выражение для обобщенного критерия представляет собой функцию

$$F(a_1, a_2, \dots, a_n, y_1, y_2, \dots, y_n), \quad (1)$$

где  $y_1, y_2, \dots, y_n$  — отдельные частные критерии (свойства) объекта;  $a_1, a_2, \dots, a_n$  — весовые коэффициенты, учитывающие относительную важность (ценность) частных критериев. Значения  $y_i$  — нормированы и представлены в безразмерном виде. Подобная процедура необходима, поскольку отдельные частные критерии, как правило, разнородны и несопоставимы друг с другом.

Значения  $a_i$ , нормируются следующим образом

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1 \quad (2)$$

Таким образом, многокритериальная задача определения объекта, обладающего наилучшим качеством среди объектов рассматриваемой группы, сводится к задаче оптимизации с единственным критерием

$$F \rightarrow \max. \quad (3)$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Игнатович, Л. В. Конструктивные особенности щитового паркета сложного рисунка из шпона. // Труды БГТУ. — № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. Минск, 2011. — с. 155–158

2. Леспром. Журнал профессионалов ЛПК [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.activestudy.info/modificirovannaya-drevesina>. Дата доступа: 20.01.2021.

3. Игнатович, Л. В. Конструктивные и технологические особенности напольных покрытий / Л. В. Игнатович, С. В. Шетько. — Минск: БГТУ, 2011. — 273 с.



## **ОКНО – ИСТОРИЯ ПОЯВЛЕНИЯ, ИЗМЕНЕНИЙ И В УСЛОВИЯХ УРБАНИЗАЦИИ**

Окна – важный элемент наружных ограждающих конструкций зданий. Они дают нам свет, сохраняют тепло, обеспечивают контакт с окружающей средой и природой, создают атмосферу уюта, комфорта, хорошего настроения и безопасности жизнедеятельности человека, оказывают существенное влияние на энергозатраты, показатели взаимодействия человека с окружающей средой и на дизайн интерьера, [1]. Внешний вид, стилевые и конструктивные решения, применяемые материалы, эргономика, характеристики на всех этапах жизненного цикла изделия вплоть до утилизации, актуальны для каждого из нас, общества и государства.

Помимо указанных в стандартах, окна могут выполнять функции: защиты от проникновения непрошенных гостей, эвакуацию в чрезвычайных ситуациях, предотвращение прослушивания, визуального контроля происходящего извне и даже выработку электроэнергии.

В далеком прошлом не было привычных нам окон. В стене могла присутствовать перегородка из шкуры животного, промасленной бумаги, ткани или пропускавшего свет бычьего пузыря, от них человечество ушло лишь в средневековье [2]. Остекленные окна появились у богатых в эпоху Римской империи. Стекло большого формата долго не умели делать, поэтому даже в XVIII в. окна имели мелкие переплеты.

Существует разнообразие характеристик окон: термины, архитектурные стили, конструктивные решения и материалы, назначение, виды домостроения и строительных проемов время и местность их применения [1, 2]. Например, к средневековым западноевропейским окнам относятся: берлинское; бифориум; брамантаово; веерное; венецианское; сотовое; французское разной формы, с наличием дополнительных элементов (жалюзи, ставни) и др.

В странах восточной Европы окна длительное время были более простыми (рис. 1). Например, в деревянном домостроении XI–XIII веков на Руси присутствовало волоковое окно (небольшое вытянутое по горизонтали, закрываемое изнутри деревянной задвижкой – волоком).

Окна с мелкими переплетами арочные и полуарочные присутствуют в каменных жилых и общественных зданиях Минска конца XIX века. В административном и жилищном домостроении СССР 30-х годов преобладают изделия соответствующие идее конструктивизма.

Для послевоенного времени характерны постройки «сталинки» с разнообразием формы и размеров окон (привокзальная площадь, Минск).

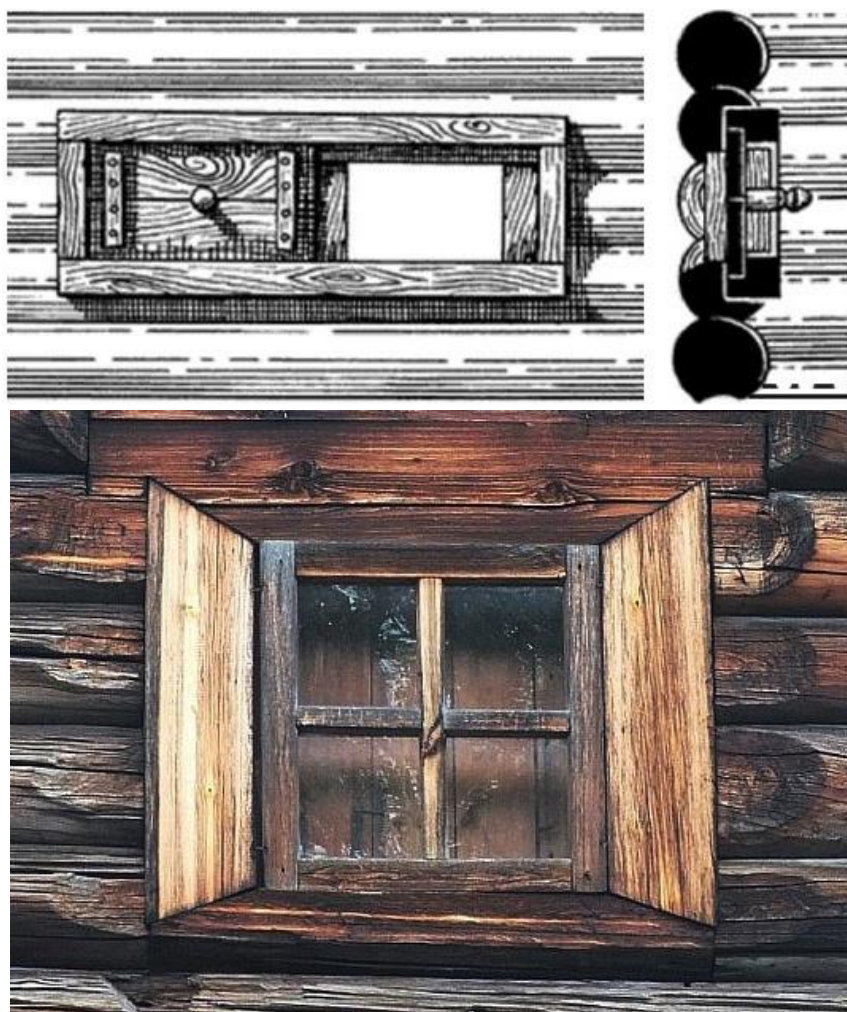


Рисунок – Окна волоковое и красное в избах на севере старой Руси

В массовом строительстве жилых домов кирпичных и панельных многоквартирных «хрущевок» 30–70 годов у нас преобладают примитивные однообразные малоформатные прямоугольные окна, за исключением отдельных «престижных» домов.

С учетом массового проектного остекления балконов и лоджий был введен СТБ 1912, который устанавливает технические требования к их элементам. Наряду положительным эффектом улучшения ограждающей конструкции сплошное остекление делает однообразным внешний вид зданий, ухудшает инсоляцию помещений, а от невидимых окон требуется только функциональность.

В последние годы можно наблюдать нередкое нарушение первоначального архитектурного облика зданий в процессе не контролируемой органами архитектурного надзора, замены окон новыми других конструкций и из поливинилхлоридных (ПВХ) профилей. Это происходит, к сожалению, даже на фасадах домов относимых к памятникам культурного наследия.

При изготовлении рамных элементов современных окон используются различные конструкционные материалы [4] древесина (массивная и клееный брус), металлопрофиль (сплавы алюминия и сталь, включая нержавеющую), полимерные профили из поливинилхлорида (ПВХ), полиуретана (пуринит – PUR) и стеклокомпозита – GFK.

Установка новых окон в процессе ремонта и реконструкции зданий с изменением конструкции изделий и применяемых материалов может восприниматься негативно, а к объектам культурного наследия, охраняемых государством, обычно предъявляются требования по максимальному приближению к первоначальным строительным решениям.

Ученые бьют тревогу, весь мир в последнее время обеспокоен негативными тенденциями в экосистеме Земли и стремительно нарастающими проблемами утилизации отходов, изделий и отработавших полимерных материалов.

Древесина, пластик или алюминий? Человечество имеет многовековой опыт использования древесины в качестве конструкционного материала в производстве элементов окон. До недавнего прошлого древесина господствовала в производстве оконных блоков для жилых, общественных зданий и даже в промышленном строительстве. Но наступил период, когда окна из этого материала стали вызывать нарекания и появились тенденция к переходу на применение ПВХ-профилей. В последнее время, с учетом совершенствования технологий, возобновляется интерес к древесине – природному, возобновляемому, «зеленому» и простому в утилизации материалу. Несмотря на горючесть древесины, она не создает особых проблем и в случае пожара.

Согласно докладу ООН «Перспективы мировой урбанизации», сейчас 55% населения мира проживает в городах, а к 2050 г. этот показатель будет гораздо значительнее (например, в России около 75%), значительно увеличится также число городов миллионников. Исторически процесс урбанизации основывается на экономических и социальных факторах. Люди стремятся уехать из малых поселений в большой

город в погоне за лучшим уровнем образования и проживания, культурными и социальными услугами, за более интересной и насыщенной жизнью, денежным и престижным трудоустройством [5].

С увеличением плотности застройки в центре городов и в пригородах растет необходимость тщательного соблюдения требований пожарной и экологической безопасности зданий, правил и технологий утилизации изделий непригодных к эксплуатации вследствие их неэффективности, ненадежности или различного рода повреждений. В статье [3] приведены краткое изложение результатов сравнительного анализа основных конструкционных материалов, применяемых в рамных элементах оконных блоков и критерии их оценки на основе наблюдений и различных источников информации.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Трофимов, С.П. Конструирование и производство столярно-строительных изделий / С.П. Трофимов, А.С. Пардаев. – Минск: БГТУ, 2011. – 521 с.
2. Борискина, И.В. Проектирование современных оконных систем гражданских зданий / И.В. Борискина, А.А. Плотников, А.В. Захаров. – М.: Чистые воды, 2004. – 310 с.
3. Трофимов, С.П. Конструкционные материалы рамных элементов оконных блоков и критерии их выбора / С.П. Трофимов. – Труды XI Междунар. евразийского симпоз. «Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века» Екатеринбург, 20–23 сентября 2016 г. – С. 145–151.
4. Ehrmann W., Gressmann M., Nutsch W., Pahl G-J. Fenster-, Türen- und Fasadentechnik für Metallbauer und Holztechniker / Hans-Joachim Pahl u.a. / 3.Aufl. – Nourney: Europa-Lehrmittel, 2008. – 327 s.
5. <https://softline.ru/about/blog/uskorenie-protsessov-urbanizatsii-kak-izmenitsya-nash-mir-zavtra>. – Дата доступа 01.11.2019.

А.Н. Наркевич, доц., канд. техн. наук;  
А.В. Полховский, преп.-ст.;  
С.В. Шетько, доц., канд. техн. наук;  
Д.А. Билинский, студ. 4 курса;  
С.А. Прохорчик, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

## МОДЕЛЬ РАСЧЕТА НА ЖЕСТКОСТЬ И ПРОЧНОСТЬ СПОРТИВНО-БЕГОВОЙ ПЛАСТИКОВОЙ ЛЫЖИ

К спортивно-беговым лыжам предъявляются высокие требования относительно жесткости, несущей способности и массы. Поэтому жесткость и разрушающая нагрузка при изгибе средней части лыжи, жесткость передней и задней частей лыжи входят в перечень характеристик, которые определяют эксплуатационные качества лыжи. По нормативу[1] определяют: высоту и длину остаточного прогиба (деформационная способность лыжи под действием сосредоточенного усилия в средней части лыжи, расположенной на плоской поверхности, до выпрямления лыжи); разрушающую нагрузку средней части лыжи при испытании на трехточечный изгиб; жесткость передней и задней частей лыжи при испытаниях на изгиб как консольных балок. Кроме этого, предложено определять жесткость и для средней части лыжи по схеме испытания ее на прочность по линейному участку диаграммы деформирования. Здесь *жесткость части лыжи* – это отношение нагрузки (или ее приращение) к соответствующей деформации (или ее приращению).

Современная лыжа (и т. п. изделия) представляет собой сложную конструкцию, состоящую в общем случае из следующих функциональных слоев:

- несущий слой – обеспечивает в основном прочность и жесткость конструкции, изготавливается из армированных композиционных материалов на основе стеклянных и (или) углеродных волокон;
- скользящий слой – обеспечивает требуемое взаимодействие нижней поверхности лыжи с покрытием лыжной трассы, применяют в основном термопластичные материалы;
- наполнитель – занимает все внутреннее пространство лыжи и в основном образует клин, может быть изготовлен из сплошных или пористых материалов, сот и т.п.

– боковина – применяются для сохранения формы поперечного сечения усиливающие пластины и расположены на боковых периферийных областях клина, выполняют из древесных, композиционных материалов и др.;

– склеивающий слой – применяют в ряде случаев для объединения различных по природе функциональных слоев, может представлять собой, например, хаотически армированный композиционный материал с высоким содержанием связующего.

Таким образом, в поперечном сечении лыжа неоднородна. Также ввиду характерной формы лыжи размеры поперечного сечения являются переменной величиной. Слоистая структура и применение композиционных материалов дает возможность управлять жесткостью и прочностью в различных частях лыжи по ее длине, используя различные схемы армирования, т.е. по длине лыжа также может быть неоднородна.

Для достижения требуемых значений жесткости и прочности при наименьшей массе при разработке новой конструкции лыжи существуют два пути: первый - экспериментальным путем подбирать структуру лыжи (материалы, количество и место расположение слоев и т.п.) с последующим изготовлением и испытанием образцов; второй – произвести предварительные расчеты для различных структур, выявляя наиболее влияющие факторы, выбрать наиболее приемлемые варианты для производства, и также изготовить и испытать образцы. Расчеты помогут значительно сократить сроки и затраты на разработку, вести целенаправленное назначение структуры. Это тем более важно в случае изготовления лыжи по индивидуальному заказу, когда первый метод подбора становится экономически неприемлемым.

В связи с этим для расчета жесткости и прочность средней части лыжи и жесткости передней и задней частей лыжи предложена модель, которая учитывает неоднородность лыжи как по толщине, так и по длине относительно геометрии, применяемых материалов и их расположения [2].

В модели учтен тот факт, что применяются конструкционные материалы, обладающие линейной зависимостью напряжений от деформации в упругой зоне, в области которой и определяются параметры жесткости.

Исходные данные для расчета по предложенной модели следующие:

- вид закрепления, базовые размеры, положение точек приложения нагрузки;

- нормативное разрушающее усилие, не менее которого должна выдержать лыжа при испытании;
- размер верхнего и нижнего основания трапецеидального поперечного сечения лыжи и высота(переменная) поперечного сечения лыжи по всей ее длине;
- модуль упругости и прочность при растяжении для применяемых материалов, причем для анизотропных материалов – вдоль оси, совпадающей с продольной осью лыжи;
- толщина применяемых тонколистовых материалов.

Для расчета *жесткостей* различных участков лыжи с учетом неоднородного по материалам и переменного по геометрии сечения применена зависимость *жесткости поперечного сечения* лыжи (отличать от *жесткости части* лыжи) от продольной координаты, а для расчета прочности средней части лыжи, кроме *жесткости поперечного сечения*, применены зависимости изгибающего момента и положения нейтральной линии сечения от продольной координаты.

*Жесткость поперечного сечения* и положение нейтральной линии сечения выражали через упругие характеристики слоев и переменные геометрические параметры сечения и расположение каждого слоя.

Обеспечение условия прочности проверяли через определение коэффициента запаса прочности (отношение прочности материала слоя к наибольшему нормальному напряжению в слое) для каждого слоя в опасном сечении.

Адекватность модели была проверена испытанием опытных образцов лыж. Расхождение расчетных значений от экспериментальных по жесткости средней части лыжи не превысило 5%, а разрушающее усилие превысило нормативное значение.

Таким образом, предложенная модель расчета жесткости и прочности может быть применена для разработки лыж слоистой конструкции под требуемые параметры, а также для совершенствования существующих конструкций.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Лыжи спортивно-беговые. Методы испытаний: ГОСТ 30045–93. Введ. 01.01.1995. М.: Изд-во стандартов, 1994. 15 с.
2. Ставров, В.П. Конструирование и расчет изделий из композиционных материалов [Текст]: учебное пособие для студентов специальности Т.ОЗ.02.00. Ч. 2: Стержневые конструкции / В.П. Ставров; Белорусский государственный технологический университет. – Минск: БГТУ, 1999 – 106 с.

С. А. Дупанов, магистрант;  
О. К. Леонович, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

### ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ И ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ МОРЕНОГО ДУБА РАЗЛИЧНЫХ ВОЗРАСТНЫХ ГРУПП ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ИЗДЕЛИЙ

Определение физико-химических свойств натурального мореного дуба различных возрастных групп требуется для установления качественно-технологических характеристик и подтверждения зависимости с возрастом натурального мореного дуба, а также введение сравнительного анализа с древесиной обычного дуба.

Образцами исследования были выбраны образцы мореного дуба 7-и возрастных групп (1000, 1500, 2000, 3000, 4000, 5000, 6000 лет), возраст подтвержден актами радиоуглеродного анализа выполненных «Академией наук РБ», а также древесиной обычного дуба. Прочностные свойства мореного дуба находятся на уровне свойств натурального дуба, а в отдельных случаях и превышают их.

В результате испытаний образцы прошли процесс сжигания при 800°C и 900°C. После обработки результатов испытания получили данные, приведенные в таблице 1 и 2.

**Таблица 1 – Определение зольности в муфельной печи при температуре T=800C и времени выдержки t=120мин**

Возраст, лет	Длина l, мм	Толщина d, мм	Ширина b, мм	Масса m1, г	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Масса m <sub>2</sub> (тигль + зола), г	Масса m <sub>3</sub> (тигль), г	Зольность, %
1000	169	14,4	12	24,8	849	67,88	64,49	13,67
1500	169	14,4	10,4	22,73	898	68,84	64,7	18,21
2000	169	15	10,8	19,5	712	63,01	60,86	11,03
3000	155	15,5	12,4	19,87	667	60,94	58,5	12,28
4000	169	15,2	9,2	19,24	814	67,44	64,81	13,67
5000	169	15,1	11,5	23,73	809	69,36	65,3	17,11
6560	69	14,1	33,2	25,09	777	120,1	116,16	15,7



**Таблица 2– Определение зольности в муфельной печи при температуре T=900°C и времени выдержки t=120 мин**

Возраст, лет	Длина l, мм	Толщина d, мм	Ширина b, мм	Масса m1, г	Плотность $\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	Масса m <sub>2</sub> (тигель + зола), г	Масса m <sub>3</sub> (тигля), г	Зольность, %
1000	25	14,7	68,2	21,55	860	66,22	65,26	4,45
1500	25,7	14,4	71,4	23,58	892	66,29	64,66	6,91
2000	25,4	15,2	69,9	19,36	717	64,77	63,45	6,82
3000	25,6	15,2	71,3	17,98	648	61,22	59,84	7,68
4000	25,5	15,8	70	25,32	898	65,46	64,01	5,73
5000	25,4	14,9	69,1	22,05	843	29,83	28,37	6,62
6560	30,4	43,9	55,5	52,17	704	119,1	116,16	5,64
О.Дуб				25,09		32,03	31,95	0,32

Согласно полученных результатов можно сделать сравнительный вывод о содержании неорганических соединений в древесине мореного дуба. Древесина мореного дуба насыщается неорганическими соединениями в период пребывания в безвоздушной водной среде. Повторяя минеральный состав среды залегания. Количество неорганических соединений в древесине мореного дуба превышает более чем в 20 раз, количество соединений в древесине натурального дуба в массовом отношении. Неорганический минеральный состав мореного дуба, полученный в результате сканирующей микроскопией, представлен в таблице 3.

**Таблица 3 – Неорганический состав зольных остатков мореного дуба**

Возраст	Зольность	Элемент	Масса, %	Соединения	Масса, %
1000	4,45%	O	29,89		
		Mg K	1,43	MgO	2,37
		Al K	2,22	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4,19
		Si K	1,33	SiO <sub>2</sub>	2,84
		K K	0,54	K <sub>2</sub> O	0,65
		Ca K	60,66	CaO	84,87
		Mn K	2,12	MnO	2,74
		Fe K	1,81	FeO	2,33
		Total	100	Total	100

Возраст	Зольность	Элемент	Масса, %	Соединения	Масса, %
1500	6,91%	O	27,27		
		Mg K	2,26	MgO	3,75
		Al K	0,38	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,72
		Si K	0,56	SiO <sub>2</sub>	1,2
		K K	0,36	K <sub>2</sub> O	0,43
		Ca K	43,49	CaO	60,85
		Mn K	2,58	MnO	3,33
		Fe K	23,09	FeO	29,71
		Total	100	Total	100
Возраст	Зольность	Элемент	Масса, %	Соединения	Масса, %
2000	6,82%	O	27,17		
		Mg K	1,97	MgO	3,26
		Al K	0,4	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,76
		Si K	0,97	SiO <sub>2</sub>	2,08
		K K	0,23	K <sub>2</sub> O	0,28
		Ca K	40,1	CaO	56,11
		Mn K	0,92	MnO	1,19
		Fe K	28,23	FeO	36,32
		Total	100	Total	100
Возраст	Зольность	Элемент	Масса, %	Соединения	Масса, %
3000	7,68%	O	26,42		
		Mg K	0,76	MgO	1,27
		Al K	0,54	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,01
		Si K	0,94	SiO <sub>2</sub>	2,02
		S K	0,54	SO <sub>3</sub>	1,35
		Ca K	29,08	CaO	40,68
		Mn K	0,45	MnO	0,58
		Fe K	41,27	FeO	53,09
		Total	100	Total	100
Возраст	Зольность	Элемент	Масса, %	Соединения	Масса, %
4000	5,73%	O	25,92		
		Mg K	0,08	MgO	0,12
		Al K	0,51	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,97
		Si K	0,8	SiO <sub>2</sub>	1,71
		K K	0,13	K <sub>2</sub> O	0,15
		Ca K	32,7	CaO	45,76
		Mn K	1,1	MnO	1,42
		Fe K	38,76	FeO	49,87
		Total	100	Total	100

Возраст	Зольность	Элемент	Масса, %	Соединения	Масса, %
5000	6,62%	O	23,53		
		Mg K	0,55	MgO	0,92
		Al K	-	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-
		Si K	0,29	SiO <sub>2</sub>	0,62
		K K	0,25	K <sub>2</sub> O	0,3
		Ca K	10,48	CaO	14,66
		Mn K	3,63	MnO	4,68
		Fe K	61,27	FeO	78,83
		Total	100	Total	100
Возраст	Зольность	Элемент	Масса, %	Соединения	Масса, %
6650	5,64%	O	26,17		
		Mg K	0,88	MgO	1,45
		Al K	0,54	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	-1,02
		Si K	1,33	SiO <sub>2</sub>	2,84
		K K	0,47	K <sub>2</sub> O	0,22
		Ca K	23,79	CaO	33,29
		Mn K	1,7	MnO	2,2
		Fe K	44,93	FeO	57,81
		Total	100	Total	100
Возраст	Зольность	Элемент	Масса, %	Соединения	Масса, %
Обычный Дуб	0,32%	O	27,57		
		P K	0,81	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,85
		K K	9,88	K <sub>2</sub> O	-11,9
		Ca K	60,39	CaO	84,49
		Mn K	1,36	MnO	1,76
		Total	100	Total	100

Вывод: Органический состав натурального мореного дуба значительно отличается от любого другого вида дерева. Содержание углерода С 70-90%, кислорода О 2-8%. Минеральный состав также очень богат содержанием железа Fe до 16%, кальция Са до 8%, а также ряд других элементов в большом количестве. Прочностные свойства мореного дуба не снижаются, что позволяет использовать его в производстве мебели и эксклюзивных изделий.

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕ- И ОГНЕБИОЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ  
ДРЕВЕСИНЫ, ПРОПИТАННОЙ СОСТАВАМИ НА ОСНОВЕ  
ФОСФОРНО-ОРГАНИЧЕСКИХ СОЕДИНЕНИЙ.**

Увеличение срока эксплуатации древесины и деревянных конструкций – одна из важнейших задач на современном этапе. Древесина, как гигроскопичный материал, подвержена гниению и возгоранию. Из-за неблагоприятных факторов, как физических, механических, так и биологических, а именно, воздействие насекомых, плесневых, дереворастворяющих и дереворазрушающих грибов, происходит разрушение древесины. Одним из основных путей решения этого вопроса является обработка древесины средствами химической защиты, а одной из основных задач – создание защитных составов, обладающих высокими био- и огнебиозащитными свойствами.

Для производителей защитных средств древесины, важно знать, насколько выпускаемое изделие соответствует техническим нормативным правовым актам, а именно эффективности по отношению к плесневым и окрашивающим грибам и по отношению к дереворастворяющим грибам. Эти показатели нормируются ГОСТ 30495-2006 «Средства защитные для древесины. Общие технические условия».

Нами были испытаны несколько защитных средств, представленных на рынке РБ: средство огнезащитное модифицированное, средство огнебиозащитное, антипирен синтезированный пленкообразующий для древесных материалов. Все составы на основе фосфорно-органических соединений Испытания проводились по ГОСТ 30028.4-2006 «Средства защитные для древесины. Экспресс-метод оценки эффективности против дереворастворяющих и плесневых грибов» и ГОСТ 16712-95 «Средства защитные для древесины. Метод испытания токсичности». Для получения культур грибов использовали среду сусло-агар (неохмеленное пивное сусло, дистиллированная вода, агар). Содержание сахара 6, рН среды  $6 \pm 0,5$ .

Для проведения испытания по ГОСТ 16712-95 на культуру дереворастворяющего гриба, выращенную на сусло-агаровой среде, помещали слой стерильной земли толщиной 1,5-2,0 см. Когда мицелий пророс и покрыл поверхность земли, всыпали мелко нарезанную простерилизованную древесину, увлажненную перед стерилизацией до 45-50%. После 20-45 дней инкубирования отбирали кусочки, которые полностью обросли мицелием, равномерно слегка размягчились, но еще не приобрели по всей поверхности бурую окраску.

Питательной средой в данном исследовании служит земля-древесина. Перед началом исследования землю увлажняли питьевой водой до 60% и стерилизовали. Инокулятами заражали землю, укладывали на нее полуфидеры и ждали пока они равномерно покроются воздушным мицелием. После чего на мицелий выкладывали пропитанные защитными средствами образцы древесины (для каждого средства готовили ряд разведений) и инкубировали при температуре  $(22 \pm 2)$  °C в течение двух месяцев (на каждый вариант опыта необходимо 12 образцов). После чего находили потерю массы образцов и определяли пороговое поглощение защитного средства. Были получены следующие результаты: эффективность по отношению к разрушающему грибу (пороговое поглощение) к массе древесины средства огнебиозащитного составило 7,1% и 8,2%, что соответствует ГОСТ 30495-2006.

Для проведения испытания по ГОСТ 30028.4-2006 использовали суспензию спор грибов возрастом от 14 до 18 суток отдельно для каждого вида. Культуры грибов разбиты на три группы. Концентрация спор каждого вида гриба подсчитывалась при помощи счетной камеры Горяева ( $1 \pm 0,001$  млн/см<sup>3</sup>). Суспензию спор каждого гриба смешивали в равных объемах и использовали для заражения эксикаторов с опилками из здоровой заболони сосны. Для каждого средства использовали 18 пропитанных образцов древесины заболони сосны (по 6 образцов для каждой из трех групп грибов) и 6 контрольных (непропитанных, по 2 образца для каждой из трех групп).

Испытание проводили в течение 15 суток при температуре  $25 (\pm 2)$  °C с оцениваем образцов через 5, 10, 15 суток. Были получены следующие результаты:

- эффективность по отношению к плесневым и окрашивающим грибам средства огнезащитного модифицированного – среднеэффективно, что соответствует ГОСТ 30495-2006.

- эффективность по отношению к плесневым и окрашивающим грибам средства огнебиозащитного и антипирена синтезированного пленкообразующего – неэффективно, что не соответствует ГОСТ 30495-2006.

Представленные защитные средства на основе фосфорно-органических соединений требуют доработки в отношении их эффективности к плесневым и окрашивающим грибам.

Предварительные исследования по добавлению в защитные средства диспергированных антисептиков дают положительные результаты по их соответствию требованиям ГОСТ 30495-2006.

Ю. В. Толстик, соискатель;  
И. К. Божелко, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **ПРОБЛЕМАТИКА ПРОИЗВОДСТВА И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫХ ДРЕВЕСНОВОЛОКНИСТЫХ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Теплоизоляционные древесноволокнистые строительные материалы, а именно плиты – современный и экологически чистый материал, который широко применяется в странах ЕС в коммерческом и частном строительстве. Использование этого материала имеет свои особенности, связанные с его характеристиками. Обеспечение эффективности и долговечности материала в т. ч. заключается в соблюдении технологии его применения и комбинирования с другими материалами.

Теплоизоляционные древесноволокнистые плиты состоят в основном из древесного волокна, смолы на полиуретановой основе (MDI 5%), парафина (1%). Древесное волокно изготавливается из лесоматериалов хвойных пород. Смолы MDI – это смолы быстрого отверждения без формальдегида, что позволяет выпускать продукцию по самым строгим требованиям к безопасности.

Требования, предъявляемые к теплоизоляционным древесноволокнистым плитам в Республике Беларусь, установлены ГОСТ EN 13171-2009, однако без требований к конкретным уровням для области применения. Стандартом определены базовые и дополнительные характеристики. В зависимости от назначения используются дополнительные характеристики: формоустойчивость при заданных условиях; прочность на сжатие; прочность при растяжении перпендикулярно поверхности; сосредоточенная нагрузка; расширение при сжатии; кратковременная гигроскопичность; паропроницаемость; динамическая жесткость; сжимаемость; звукопоглощение; сопротивление воздушному напору; истинная плотность; удаление опасных веществ; испытание на продолжительное тлеющее горение;

В результате анализа характеристик плиты предложены возможные области ее назначения, в т. ч. при улучшении действующих характеристик. Это может способствовать расширению текущих областей назначения продукции, выделению дополнительных марок.

С.С. Утгоф, ст. преп., канд. техн. наук;  
А.С. Чуйков, ст. преп., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## **ТЕХНОЛОГИЯ ВИРТУАЛЬНОЙ РЕАЛЬНОСТИ ДЛЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ**

С каждым годом цифровые технологии все шире интегрируют в различные сферы жизнедеятельности человека. Помимо таких очевидных сфер – игровой и развлекательной – технологии виртуальной реальности уже применяются в недвижимости, образовании, моделировании, автомобилестроении, медицине. Следует отметить, что применение виртуальной реальности (VR или Virtual Reality) в деревообрабатывающей промышленности Республики Беларусь довольно слабо развито в силу отсутствия необходимого дорогостоящего оборудования и специалистов.

На рынке VR-решения сейчас активно внедряются застройщиками. Как правило это связано с тем, что покупателям квартир часто бывает сложно принять решение о покупке, потому что приходится выбирать из вариантов, которых еще не существует в реальном мире. Застройщики помогают покупателям оценить будущее жилье при помощи специального оборудования – VR-очков. Технология позволяет заказчику понять, как будет выглядеть конфигурация готовой квартиры изнутри [1].

Сотрудники кафедры технологии и дизайна изделий из древесины работают над тем, чтобы использовать технологию виртуальной реальности для прототипирования и визуализации готовой продукции деревообрабатывающих предприятий. Для этого необходимо решить ряд задач, связанных с анализом существующих способов создания и демонстрации трехмерных моделей продукции деревообрабатывающих производств, созданием виртуальных моделей прототипов изделий, разработкой цифровой виртуальной среды для мобильной демонстрации продукции потребителю, применением виртуальной реальности для наглядного представления продукции в пространстве с быстрой сменой характеристик изделий под запрос потребителя и др.

Решение поставленных задач позволит совершенствовать конструкции и технологии производства продукции без вовлечения в процесс материальных ресурсов, а также обеспечит мобильность и доступ-

ность демонстрации готовых изделий в виртуальной среде, конкурентоспособность и интерес потребителей к продукции деревообрабатывающих производств [2].

Стоит отметить, что использование VR-технологий позволяет перевести подход к реализации продукции деревообрабатывающих предприятий на качественно новый уровень. Например, вместо того, чтобы менеджер пытался на словах переубедить клиентов, он дает им возможность развеять свои сомнения с помощью технологии, – увидеть, оценить, изменить, а в некоторых случаях и взаимодействовать с объектами [3].

Использование современных программных продуктов автоматизированного проектирования значительно снижает временные затраты конструкторской деятельности, а также снижает потребность в ресурсах компьютера. Основным направлением развития проектирования мебели является внедрение систем автоматизирования проектирования с разработкой трехмерной модели готового изделия, что позволяет сократить продолжительность процесса конструирования и повысить качество получаемой продукции. Использование современных инновационных технологий виртуальной и дополненной реальности позволит усилить взаимодействие потребителя и производителя и вывести эти отношения на новый качественный уровень. Внедрение разработанных систем и программных продуктов будет способствовать сокращению продолжительности проектирования изделий из древесины и древесных материалов, снижению затрат материальных ресурсов на производство прототипов, повышению конкурентоспособности отечественной продукции.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Российская Газета. Покупатель хочет увидеть [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rg.ru/2019/03/31/gde-mozhno-primeniat-tehnologii-virtualnoj-realnosti.html#:~:text=Сфера%20применения%20технологий%20виртуальной%20реальности,%2С%20моделирования%2С%20автомобилестроения%2С%20медицины.> – Дата доступа: 03.02.2021.

2. Чуйков, А.С. Моделирование объектов дизайна: лаб. практикум для студентов / А.С. Чуйков. – Минск: БГТУ, 2019. – 94 с.

3. 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.



С.А. Гриневич, доц., канд. техн. наук,  
А.А. Гришкевич, доц. канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## РАСЧЕТ СКОРОСТИ ОБРАТНОГО ВЫБРОСА ЗАГОТОВКИ

Вопросы охраны труда в деревообрабатывающей промышленности не теряют своей актуальности. Ежегодно происходят десятки несчастных случаев, приводящих к травмированию рабочих. Одним из наиболее опасных прецедентов является обратный выброс заготовки режущим инструментом. Прежде всего это связано с кинематикой самого процесса обработки – встречное резание. Немаловажными факторами также являются правильная настройка прижимных элементов станка и работоспособность противовыбрасывающих устройств.

Наиболее часто обратный выброс заготовок наблюдается на круглопильных станках для продольной распиловки [1]. Согласно ГОСТ 12.2.026.0-93 [2] в круглопильных станках для продольной распиловки должно быть предусмотрено не менее двух рядов завес из подвижных предохранительных упоров, а в станках с гусеничной подачей дополнительно должен быть установлен нижний ряд упоров.

При соблюдении углов заклинивания  $55-65^\circ$  и должной остроте предохранительных упоров последние, при ее обратном выбросе заготовки, внедряются в древесину и препятствуют ее обратному выбросу. При этом основную нагрузку воспринимает ось, на которой подвешены предохранительные упоры. Возможен также вариант, когда выброшенная режущим инструментом заготовка, ударяется в опустившуюся когтевую завесу. Для предотвращения вылета заготовки из станка в этом случае конструкцией противовыбрасывающего механизма должен быть исключен проворот предохранительных упоров в направлении, обратном направлению подачи материала. При этом нагрузка от удара заготовки распределяется между осью, на которой смонтированы упоры, и элементом конструкции, препятствующем провороту.

Для проектирования деталей и узлов противовыбрасывающего устройства необходимо знать скорость, с которой заготовка попадает в когтевую завесу. Для этого определим моменты инерции составляющих звеньев механизма, приводящего во вращение режущий инструмент.

Как правило, механизм резания включает электродвигатель, муфту или ременную передачу для передачи движения на пильный вал, сам вал и режущий инструмент. Запишем приведенный момент инерции системы

$$I = I_{\text{рот}} + I_{\text{М}} + I_{\text{В}} + I_{\text{РИ}}, \quad (1)$$

где  $I_{\text{рот}}$  – момент инерции ротора электродвигателя привода резания,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $I_{\text{М}}$  – момент инерции муфты,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $I_{\text{В}}$  – момент инерции пильного вала,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $I_{\text{РИ}}$  – момент инерции режущего инструмента,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ .

Максимально возможная масса заготовки при выпилровке бруса максимальным размером  $120\times 260\times 5000$  из дуба составляет  $m=10,7$  кг.

Приведенный момент инерции заготовки

$$\Delta I = m \cdot R^2, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус резания, м;  $m$  – масса выброшенной заготовки, кг.

Полагая взаимодействие режущего инструмента и элемента древесины кратковременным, введем допущение о замкнутости системы. Приравняем кинетические моменты системы до и после захвата заготовки

$$I \cdot \omega_0 = (I + \Delta I) \omega, \quad (3)$$

где  $\omega_0$  – угловая скорость пилы до взаимодействия,  $\text{с}^{-1}$ ;  $\omega$  – угловая скорость пилы после взаимодействия,  $\text{с}^{-1}$ .

Выразим угловую скорость пилы в момент выбрасывания заготовки

$$\omega = \frac{I \cdot \omega_0}{I + \Delta I}. \quad (4)$$

Угловая скорость может быть выражена через линейную как

$$v = \omega \cdot R. \quad (5)$$

Таким образом с учетом (2), (4) и (5) получим выражение для расчета скорости выброса заготовки

$$v = \frac{I \cdot \omega_0 \cdot R}{I + m \cdot R^2}. \quad (6)$$

Полученная зависимость позволяет произвести расчет скорости выброса и определить влияние на нее параметров механизма привода резания, самого режущего инструмента и массы выбрасываемой заготовки.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гриневич, С. А. К вопросу обеспечения безопасности при эксплуатации круглопильного оборудования / С.А. Гриневич, А.А. Гришкевич, Д.С. Волкович. – Труды БГТУ. № 2 (234). Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и переработка возобновляемых ресурсов. – Минск: БГТУ, 2020.

2. ГОСТ 12.2.026.0-93. Оборудование деревообрабатывающее. Требования безопасности к конструкции. – Введ. 01.01.1996. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 1996. – 28 с.

А.А. Гришкевич, доц, канд. техн. наук;  
Г.В. Алифировец, инж. (БГТУ, г. Минск)

## **БИОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ ЗУБА БОБРА – КАК ВОЗМОЖНАЯ ОСНОВА КОНСТРУКЦИИ САМОЗАТАЧИВАЮЩЕГОСЯ ЛЕЗВИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО 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].

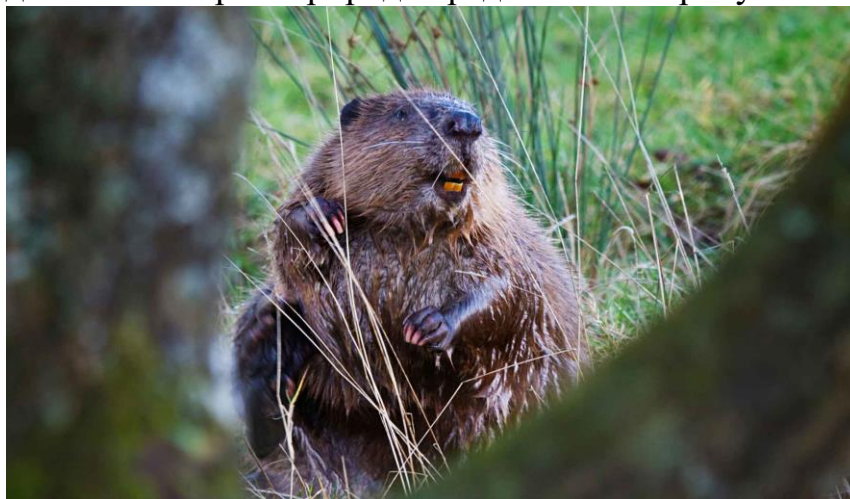
В Беларуси бобр распространён по всей территории. Общее количество бобров, населяющих отдельную водную систему (более или менее крупную), составляет бобровую популяцию. В Беларуси выделены неманская, березинская, сожская, днепровская, припятская, западно-двинская и западно-бугская популяции, достаточно 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.

Вид живого бобра в природе представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1 – Бобёр обыкновенный**

На рисунке 2 представлен ствол дерева, перерезанного бобром.



**Рисунок 2 – Вид ствола дерева, перерезанного бобром**



**Рисунок 3 – Стружка древесная**

На рисунке 3 представлена стружка древесная после перерезания бобром ствола дерева.

В зубах бобров содержится железо, именно поэтому зубная эмаль животных окрашена в ярко-оранжевый цвет, и именно железо обеспечивает дополнительную прочность зубам. Сила укуса у бобров в шесть раз сильнее, чем у людей.

Возраст бобров в природе 10-17 лет, в регулярно промышляемых популяциях обычно не превышает 10-12 лет. В Беларуси отмечены случаи поимки бобров в возрасте 21-22 лет. У таких особей коренные зубы были изношены почти до десен. В неволе живет до 35 лет.

На рисунке 4 представлены зубы бобра:



**Рисунок 4 – Черепная часть головы бобра**



**Рисунок 5 – Зубья бобра (верхний и нижний)**

На рисунке 5 представлены верхние и нижние зубья.

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.

А.А. Гришкевич, доц, канд. техн. наук;  
С.А. Гриневич, доц, канд. техн. наук;  
Савченя А.А., студ. 5 курса (БГТУ, г. Минск)

## СБОРНАЯ КОНСТРУКЦИЯ ПИЛЫ ДИСКОВОЙ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

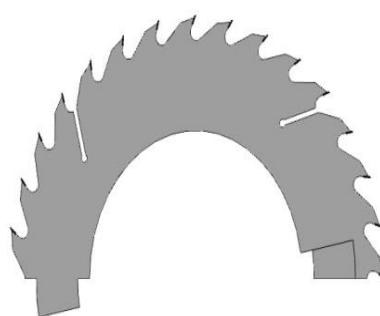
Технический прогресс в деревообрабатывающей промышленности, автоматизация и интенсификация технологических процессов, а также повышение качества и точности обработки древесных материалов предъявляют к режущему инструменту все более высокие требования.

Одно из основных требований, предъявляемых к инструменту и оборудованию – высокая производительность. Существует множество конструкций пил дисковых увеличивающих производительность самого инструмента, однако увеличение производительности за счет уменьшения времени на замену инструмента не имеет такого же многообразия конструкций [1,2,3]. Проведен обзор патентных материалов [4,5] и многие другие.

В работе предлагается один из вариантов пилы дисковой, дающий возможность уменьшить время простоя оборудования при замене инструмента (рис. 1). Проведены первоначальные расчеты на работоспособность инструмента, разработаны чертежи новой конструкции (рис. 2). Как базовая машина, на которой возможно использование проектируемого инструмента и проведение необходимых инженерных расчетов, была определена PWR 402 [6].



**Рисунок 1 – Принципиальный вид проектируемой пилы дисковой сборной**



**Рисунок 2 – Графическое определение параметров съемного сегмента**

Информация	
МДХ модель:	
Деталь:	
Заданные параметры:	
Материал тела	Сталь 50ХН ГОСТ 14959-2016
Плотность материала тела	$\rho = 7800,000000 \text{ кг/м}^3$
Расчетные параметры(тела и компоненты):	
Масса	$M = 0,596225 \text{ кг}$
Площадь	$S = 0,038614 \text{ м}^2$
Объем	$V = 0,000076 \text{ м}^3$
Центр масс	$X_c = 0,000000 \text{ м}$
	$Y_c = 0,000000 \text{ м}$
	$Z_c = 0,079816 \text{ м}$

Данная конструкция пилы дисковой сборной со съемными сегментами дает возможность уменьшить время на замену инструмента



при потере им режущей способности и улучшить эксплуатационные характеристики машины.

В результате расчетов определены значения максимальной силы, приходящейся на крепежные элементы, достигаемое при вращении пилы на холостом ходу. Они равны силе инерции сегмента, которая составила  $F_{ii} \approx 1018$  Н. Установлена максимальная скорость подачи по полной загрузке привода, которая составила  $V_s = 14,1$  м/мин.

По результату расчета крепежных элементов на смятие и срез было определено, что для крепления сегментов потребуются винты А2.М3-6gx3,5.109 ГОСТ 17475 в количестве 6 штук.

Проведены исследования по определению зависимости напряжения среза  $\tau_{ср}$ , МПа, и смятия  $\sigma_{см}$ , МПа от частоты вращения  $n$ , мин<sup>-1</sup>, а также зависимости напряжения среза  $\tau_{ср}$ , МПа, и смятия  $\sigma_{см}$ , МПа от диаметра резьбы винта  $d$ , мм, и их количества. Максимально возможная допустимая частота вращения пилы составила  $n = 4664$  мин<sup>-1</sup>, а наилучшим вариантом крепежных элементов будет 6 винтов А2.М3-6gx3,5.109 ГОСТ 17475.

#### ЛИТЕРАТУРА

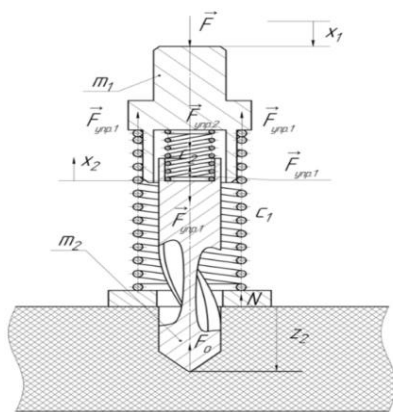
1. Суханов, В. Г. Круглопильные станки для распиловки древесины / В. Г. Суханов. – Москва: Лесная промышленность, 1984. – 96 с.
2. Пилы круглые плоские для распиловки древесины. Технические условия: ГОСТ 980–80. – Введ. 01.01.82. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2014. – 28 с.
3. Пилы дисковые с твердосплавными пластинами для обработки древесных материалов: ГОСТ 9769–79. – Введ. 01.01.81. – Минск: Государственный комитет по стандартизации Республики Беларусь, 2011. – 16 с.
4. Дисковая пила: пат. 7982 Респ. Беларусь, МПК В 23 D 47/00, В 23 D 61/02, С 23 С 14/32 / И. В. Мурашова, В. А. Хлебцевич, И. Л. Поболь, Ю. В. Соколов, А. Э. Паршутто; заявитель Физ.-техн. ин-т. Нац. академии наук Бел. – № и 20110634; заявл. 08.05.2011; опубл. 28.02.2012 // Нац центр интеллектуал. собственности. – 2020. – С. 5.
5. Дисковая пила: пат. 2691600 Рос. Федерация, МПК В 27 В 33/08 6 / А. В. Власов, С.Г. Ганапольский; заявитель Вятский гос. ун-т – № 2018131788; заявл. 09.03.2018; опубл. 06.14.2019 // Регистр интеллектуал. промышл. собственности. – 2020. – С. 5.
6. Распиловочный станок двух вальный многодисковый TOSS vitavu PWR 402 [Паспорт станка] – Чехия, 2006. – 45 с.м

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ СВЕРЛИЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ СВЕРЛЕНИЯ Л-ДСП

На процесс резания древесины и древесных материалов процессом сверления, оказывает влияние много факторов, среди которых можно выделить три основные группы: 1) факторы, относящиеся к исследуемому материалу (физико-механические свойства Л-ДСП); 2) факторы, относящиеся к режущему инструменту (геометрические параметры сверла, углы резания, марка стали и пр.); 3) режимы резания или обработки (скорость главного движения, скорость подачи).

Существуют различные методики проведения экспериментов по изучению свойств дереворежущего инструмента. Но большинство из них охватывает не более одного исследуемого варьируемого параметра, влияющего на интересующий нас показатель – качество обработанной поверхности.

В связи с вышесказанным было спроектирован сверлильный инструмент, конструкция которого предполагает применение пружин сжатия с разными коэффициентами жесткости в сверлильном инструменте. Во время внедрения сверла в твердую ламинированную часть плиты снижается скорость подачи за счет срабатывания пружин, на которые в это время подается нагрузка.



**Рисунок 1 – Расчетная схема**

На основании рассмотренных конструкций сверлильный инструмент с применением упругих элементов является наиболее оптимальным вариантом. Это достигается за счет ее простоты конструкции и меньших габаритов. На рисунке 1 представлена расчетная схема пружин.

Достоинства конструкции: при уменьшении скорости подачи образование сколов на входе и выходе ламинированной плиты минимально. Изменение скорости подачи происходит не на программном уровне, что влечет за собой



написание более простой программы обработки заготовки; простота изготовления конструкции; малые габариты конструкции.

Недостатки: ограниченная глубина просверливаемого отверстия.

Для решения составим следующие дифференциальные уравнения:

$$m_1 \ddot{x}_1 = F - c_1 x_2 \quad (1)$$

$$m_2 (\ddot{x}_1 - \ddot{x}_2) = c_1 x_2 - F_{OC} \quad (2)$$

Деформация внешней пружины

$$x_1 = \frac{F - K\mu}{m_1} t^2 + V_s t + \frac{K\mu}{m_1 k_2^2} (1 - \cos k_2 t) \quad (3)$$

Шаг витка пружины  $t=0,007$  м, скорость подачи  $V_s=5$  м/мин, частота колебаний  $k_2=430$  с<sup>-1</sup>, масса оправы равна  $m_2=0,275$  кг

$$x_1 = \frac{71 - 3484 \cdot 0,042}{0,275} 0,007^2 + 5 \cdot 0,007 + \frac{3484 \cdot 0,042}{0,275 \cdot 430^2} (1 - \cos 430 \cdot 0,007) = 0,027 \text{ м.}$$

Тогда углубление сверла  $z_2$  найдем из выражения

$$z_2 = x_1 - x_2. \quad (4)$$

Преобразовав некоторые выражения получим:

$$z_2 = \frac{F - K\mu}{m_1} t^2 + V_s t + (1 - \cos k_2 t) \left( \frac{K\mu^2}{m_1 c_1} - \frac{K\mu}{c_1} \right) \quad (5)$$

Подставив численные значения в формулу (3.31) углубление сверла составит

$$z_2 = \frac{70 - 3483 \cdot 0,042}{0,275} \cdot 0,0157^2 + 5 \cdot 0,0157 + (1 - \cos 283 \cdot 0,0157) \cdot \left( \frac{3484 \cdot 0,042^2}{0,275 \cdot 3365} - \frac{3484 \cdot 0,042}{3365} \right) = 0,011 \text{ м.}$$

## ЛИТЕРАТУРА

1. Волынский В.Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учеб. справоч. пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2010. 336 с.

2. Цуканов Ю.А. Обработка резанием древесностружечных плит / Ю.А. Цуканов, В.В. Амалицкий. – Москва: Лесная промышленность, 1966. – 94 с.

УДК 621.95.013.3

Т.А. Машорипова, асп.; А. Ф. Аникеенко, доц., канд. техн. наук  
(БГТУ, г. Минск)

### ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ УГЛОВ РЕЗАНИЯ ОТ УГЛА НАКЛОНА ВИНТОВОЙ КАНАВКИ У СВЕРЛ С КОНИЧЕСКОЙ ЗАТОЧКОЙ

Как известно, углы резания рассматриваются в плоскости движения, в данном случае в плоскостях, нормальных к режущей кромке, следовательно, в зависимости от угла наклона режущей кромки к оси сверла  $\varepsilon$  углы резания будут иметь различные значения, не совпадающие с контурными (за исключением случая для  $\angle \varepsilon = 90^\circ$ ). Кроме того, вследствие расположения канавки соответствующего профиля по винтовой линии углы резания приобретают различные значения по длине режущей кромки.

Известно, что углы наклона  $\omega$  и подъема  $\tau$  винтовой канавки зависят от шага последней и обуславливаются следующими соотношениями

$$\operatorname{tg} \tau = \frac{H}{2\pi R}, \quad (1)$$

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{2\pi R}{H}, \quad (2)$$

где  $R$  – радиус сверления, мм;  $H$  – шаг винтовой канавки, мм;  $\omega$  – угол наклона винтовой канавки, град.

Следовательно, при данном шаге винтовой канавки  $H$ , определяющем для периферийной точки режущей кромки значения углов  $\omega$  и  $\tau$ , значения углов в плоскости сечения, параллельной оси, для точек режущей кромки, ближе к лежащих к оси сверла, будут иные – значение угла наклона  $\omega$  будет падать, а углы подъема  $\tau$  возрастать, что равным образом относится и для значений углов резания.

На основе формул (1) и (2) можно сделать следующий вывод

$$\operatorname{tg} \tau = (\operatorname{tg} \omega)^{-1} = \operatorname{ctg} \omega. \quad (3)$$

Тогда

$$\operatorname{tg} \delta' = \sin \varepsilon \cdot \operatorname{ctg} \omega. \quad (4)$$

Угол резания составит

$$\delta' = \operatorname{arctg}(\sin \varepsilon \cdot \operatorname{ctg} \omega). \quad (5)$$

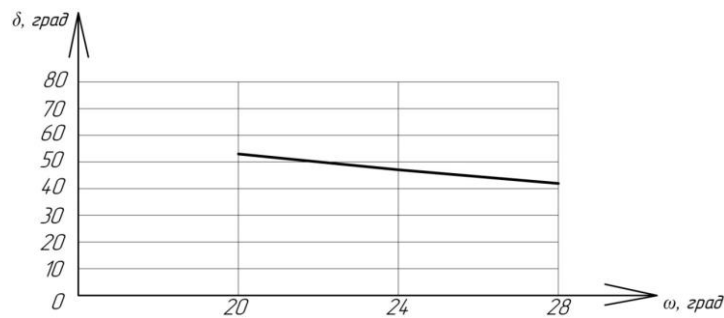
Для сверл малого диаметра (в данной работе сверло  $D=10\text{мм}$ ) угол наклона винтовой канавки составляет  $\omega=20\dots28^\circ$ . Для построения графика возьмем три значения угла наклона винтовой канавки  $\omega=20^\circ$ ,  $\omega=24^\circ$  и  $\omega=28^\circ$ . Половина угла при вершине принята из конструкции сверла  $\varepsilon=30^\circ$  и величина постоянна.

$$\delta'_1 = \text{arctg}(\sin 30 \cdot \text{ctg} 20) = 53,9^\circ,$$

$$\delta'_2 = \text{arctg}(\sin 30 \cdot \text{ctg} 24) = 48,3^\circ,$$

$$\delta'_3 = \text{arctg}(\sin 30 \cdot \text{ctg} 28) = 43,2^\circ.$$

На основании этих данных построим график. На рисунке представлен график зависимости угла резания  $\delta$ , град, от угла наклона винтовой канавки  $\omega$ , град.



**Рисунок 1 – График зависимости угла резания от угла наклона винтовой канавки  $\omega$**

Из графика можно сделать следующий вывод, что при увеличении угла наклона винтовой канавки  $\omega$ , град, угол резания  $\delta$ , град, уменьшается. Также с уменьшением угла резания уменьшается, крутящий момент  $M_{ок}$ , Н·м, и осевое усилие  $F_0$ , Н.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грубе, А.Э. Дереворежущие инструменты. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 339 с.
2. Цуканов Ю.А. Обработка резанием древесностружечных плит / Ю. А. Цуканов, В. В. Амалицкий. – Москва: Лесная промышленность, 1966. – 94 с.
3. Волынский В. Н. Технология древесных плит и композитных материалов: учеб.справоч. пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2010. 336 с.

УДК (628.393.614.8)

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);

М.Э. Новиков, магистрант (УГЗ, г. Минск);

В.Е. Левкевич, проф., д-р техн. наук (БНТУ, г. Минск)

## **ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ (БОРТОВ) КАРЬЕРОВ**

Открытый способ добычи полезных ископаемых имеет свою специфику. Значительные разрушения земной поверхности и существующая технология добычи полезных ископаемых приводят к тому, что карьеры в той или иной степени являются источниками разрушения и загрязнения окружающей среды. При карьерных разработках риск возникновения опасных процессов связан с техногенными воздействиями и с активизацией различных физических, химических, геологических и гидрогеологических процессов. В Беларуси за последние 15 лет разработано более 1 000 карьеров. Около 600 из них рекультивировано или законсервировано. Имеются гигантские карьеры добычи гранита (Микашевичи), доломитов и известняков (Руба).

В докладе рассматриваются результаты исследований, выполненных в 2020 году по ГПНИ «Информатика, космос и безопасность», задание 3.1.33 «Разработать комплексную оценку влияния карьерных водоемов на безопасность эксплуатации карьеров в местах добычи полезных ископаемых». Карьеры рассматривались, как источники опасных техногенных процессов и явлений. Одним из важных вопросов в решении проблемы техногенной безопасности является правильная оценка потенциальной опасности карьеров. Подробный анализ возникновения и развития чрезвычайных ситуаций на карьерах позволяет выделить систему общих и частных факторов опасностей, которые следует учитывать при проектировании новых производств, усовершенствовании нормативно-технической документации.

При открытой разработке месторождений полезных ископаемых возможны два основных класса опасных явлений. Первый связан с неконтролируемым перемещением масс породы. Сюда относится образование деформаций бортов карьеров: оползни, обрушения и обвалы, осыпи и оплывины, просадки. Второй класс опасных явлений связан с неконтролируемым затоплением карьеров грунтовыми водами.

Существует еще класс опасных явлений, связанных с взрывными работами в карьерах.

Состояние откосов (бортов) карьеров зависит как от естественных, так и техногенных факторов. Анализируя устойчивость бортов карьеров в сложноструктурном массиве мягких пород можно выделить следующие группы факторов:

- природно-геологические;
- горнотехнические;
- физико-географические;
- гидрогеологические.

Природно-геологические факторы включают:

- структурные особенности массива горных пород и условия их залегания;
- вещественный состав и структурно-текстурные особенности пород;
- прочность горных пород.

Горнотехнические факторы включают:

- способы вскрытия карьерного поля;
- систему разработки;
- специфику производственных процессов.

Физико-географические факторы включают:

- климатические условия района месторождения;
- рельеф местности;
- влажностный режим горных пород;
- процессы выветривания;
- глубина сезонного промерзания и оттаивания пород.

Гидрогеологические факторы включают:

- наличие подземных вод;
- фильтрационные потоки.

Физико-географические и природно-геологические факторы играют первостепенную роль в устойчивости откосов уступов на карьерах. Проведенная в 1972 – 1981 годах систематизация нарушений откосов на карьерах СССР, ГДР, КНР, ЧССР, НРБ, ФРГ и Италии показала, что с атмосферными осадками связано более 25 % деформаций откосов. Количество атмосферных осадков, интенсивность дождей, мощность снегового покрова и продолжительность его таяния оказывают наибольшее влияние на устойчивость песчано-глинистых пород в бортах карьеров.

К числу основных гидрогеологических факторов относятся: глубина залегания водоносного горизонта, водообильность, напор-

ность, наличие гидравлической связи между горизонтами, гидродинамические характеристики водоносных горизонтов. Гидрогеологическими факторами обуславливаются:

- подток подземных, дождевых и талых вод, вызывающий набухание,
- снижение прочности и местные деформации откосов песчано-глинистых пород;
- гидродинамическое давление фильтрующихся в приоткосном массиве подземных вод, приводящее к оплыванию откосов раздельно-зернистых и песчано-глинистых пород;
- суффозия, способствующая выносу мелких частиц;
- выщелачивание засоленных песчано-глинистых пород, карбонатных пород, галоидов, способствующее карстообразованию;
- внезапные прорывы подземных вод в результате вскрытия карстовых полостей или нарушения режима дренажа.

В глинистых породах, особенно в глинах монтмориллонитового состава, при увеличении влажности интенсивно развиваются процессы набухания, что существенно влияет на деформационные характеристики массива. Если в приоткосной области залегают падающие в сторону выемки или горизонтальные, подвергающиеся увлажнению литологические контакты, процесс набухания протекает совместно с процессами ползучести.

Различные факторы взаимодействуют, усиливая влияние на устойчивость бортов карьеров. Установлено, что строение прибортового рельефа, влияет на сток дождевых и талых вод. Влага частично фильтруется через массив, в зависимости от типа пород. Если в прибортовом рельефе присутствуют локальные понижения, это приводит к аккумулярованию дождевых и талых вод, просачиванию их через зоны повышенной проницаемости. Влажность существенно изменяет прочностные характеристики массива горных пород, места скопления влаги следует относить к потенциально опасным.

УДК (628.393.614.8)

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук;

У.В. Зязюля, студ., (БГТУ, г. Минск);

В.Е. Левкевич, проф., д-р. техн. наук (БНТУ, г. Минск)

## **АНАЛИЗ, ОСОБЕННОСТИ И ПРИМЕНИМОСТЬ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ ДЛЯ ВОДОЕМОВ КАРЬЕРНОГО ТИПА**

При карьерных разработках риск возникновения опасных процессов связан с техногенными воздействиями и с активизацией различных физических, химических, геологических и гидрогеологических процессов. Значительные затруднения при оценке риска связаны с вопросами о критериях приемлемого риска аварий на водных объектах, особенно риска для жизни людей.

Применительно к условиям Республики Беларусь, для оценки риска возникновения чрезвычайных ситуаций на одиночных водоемах, определяемой по ниже приведенной формуле, необходимо наличие достаточной статистической информации об уже возникших гидродинамических авариях за максимально возможный промежуток времени.

$$\varepsilon = \frac{1}{\sqrt{\lambda \times m \times n}} = \frac{1}{\sqrt{10^{-4} \times 153 \times 65}} = 1,$$

где  $\lambda$  – вероятность возникновения чрезвычайной ситуации;  $m$  – количество гидроузлов в Республике Беларусь;  $n$  – время, в течение которого на данных гидроузлах возникнут гидродинамические аварии.

Произошедшие гидродинамические аварии на территории страны относятся к редким по повторяемости событиям, для которых напрямую подсчитать вероятность и оценить риск их возникновения не представляется возможным. Если предположить, что вероятность возникновения аварии на гидроузлах составляет  $10^{-4}$ , то для ее оценки даже со 100 % ошибкой требуются статистические данные не менее чем за 65 лет. Такие данные не могут быть получены, поскольку срок эксплуатации большинства водохранилищ составляет 35–40 лет.

В СТП ВНИИГ 230.2.001–00 отмечается, что при отсутствии статистически значимой информации для редких событий, а также для часто повторяющихся причин, приводящих к авариям, определение вероятности их возникновения проводится с использованием следующих методов: статистический, графоаналитический и экспертный. Использование статистического метода целесообразно при достаточном коли-

честве репрезентативной статистической информации за продолжительный промежуток времени. При графоаналитическом методе используются логический анализ «деревьев событий» и «деревьев отказов» основных причин, приводящих к возникновению главной аварии. Экспертный метод заключается в выработке оценки путем учета мнений специалистов в данной области.

Метод экспертной оценки риска аварий также предложен в работах российских исследователей Розанова Н.Н., Верменко В.В., Волохова М.Н., Муратова Л.Н. и Тейтельбаума А.И. Авторы отмечают, что оценка риска гидродинамических аварий в первую очередь должна основываться на анализе имеющихся данных о причинах возникновения (рискообразующих факторов). Положительным моментом в данной методике, является то, что нет необходимости в сборе статистической информации по каждому рискообразующему фактору редкого события.

Такие методы как «события-последствия», «метод индексов опасности», «метод проверочного листа», «анализ видов и последствий отказов» в большей степени подходят для оценки риска сложных технических систем с множеством технологического, инженерного оборудования и опасных веществ.

При решении сложных статистических задач часто используют метод Монте-Карло, в основе которого положена генерация случайных последовательностей. В последнее время данный метод находит все большее применение в связи с развитием электронно-вычислительной техники, поскольку требует проведения сложных математических расчетов. Рассматривая метод построения «деревьев событий» Алымов В.Т. и Тарасов Н.П. отмечают, что с его помощью можно оценить не только вероятность по каждому событию, но также определить сценарии возможной аварии и причинно-следственные связи между исходными событиями. При правильном построении дерева событий, можно получить полную картину риска исследуемого объекта, построив «дерево отказов». В таблице представлена сравнительная оценка их применимости для прогнозирования гидродинамических аварий на территории Республики Беларусь.

Анализ применимости различных методов для оценки риска возникновения гидродинамических аварий показал, что наиболее подходящими для оценки рисков негативного воздействия водоемов, в частности водоемов ОАО «Доломит» являются метод построения «деревьев событий» и «деревьев отказов». Применение указанных методов в дальнейших исследованиях позволит выявить перечень природных и



антропогенных факторов, которые могут привести к значительному негативному воздействию карьеров на прилегающие территории.

Расчет каждого из локальных ущербов должен проводиться по отдельным методикам, в зависимости от специфики вредных воздействий и реакции соответствующего реципиента.

**Таблица 1 – Применимость методов для оценки риска возникновения гидродинамических аварий на территории Республики Беларусь**

Методы по оценке риска								
Дере- вья собы- тий	Дере- вья отка- зов	Собы- тия- по- след- ствия	Ме- тод ин- дек- сов опас- ности	Ме- тод про- ве- роч- ного листа	Анализ видов и по- след- ствий отка- зов	Метод эк- перт- ных оценок	Анализ опас- ности и работо- спо- собно- сти	Ме- тод Монт е- Карло
++	++	+	+	–	+	+	+	+

Примечания:

- 1(–) – наименее подходящий метод;
- 2 (+) – рекомендуемый метод;
- 3 (++) – наиболее подходящий метод.

УДК (628.393.614.8)

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);

М.Э. Новиков, магистрант (УГЗ, г. Минск);

В.Е. Левкевич, проф., д-р техн. наук (БНТУ, г. Минск)

## ИНЖЕНЕРНЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА УСТОЙЧИВОСТЬ ОТКОСОВ (БОРТОВ) ПРОМЫШЛЕННЫХ КАРЬЕРОВ

По литературным источникам, а также базе данных Минприроды установлено, что в Беларуси эксплуатируется более двух тысяч карьеров (см. таблицу) из них 63 единицы – это промышленные карьеры с большой глубиной выработки (более 20 м) и возможным образованием карьерных водоемов, затрудняющих эксплуатацию объектов.

Для оценки устойчивости бортов карьеров используются различные методики, в основу которых положен закон сохранения массы и расчета соотношения сдвигающих и удерживающих сил, которые определяют коэффициент устойчивости и состояние откоса.

**Таблица 1 – Карьеры строительных материалов Беларуси**

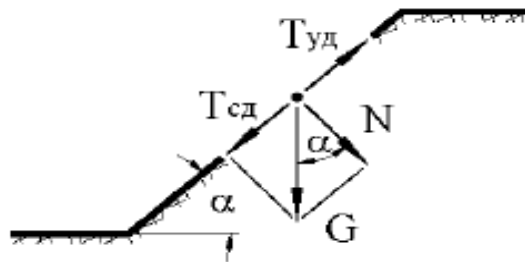
АТЕ	Об- щее кол-во карье- ров	Пло- щадь, га	Промышленные карьеры		
			полезное ископаемое	кол-во карье- ров	пло- щадь, га
Брестская обл.	482	829	ПГС, песок, гравий, камень. глина. мел	72	375
Витебская обл.	390	958	ПГС, песок, глина. доломит	89	772
Гомельская обл.	371	1041	ПГС, песок, гравий, камень. глина. керамзит	64	753
Гродненская обл.	364	137	ПГС, песок, глина. мел, сопро- пели	103	1047
Минская обл.	386	895	ПГС, песок, глина. мел, ГПС, ГПМ	88	712
Могилевская обл.	258	1146	ПГС, песок, глина. мел, мар- гель	52	912
Всего	2251	6279		468	4571

Наиболее распространенными методами расчета устойчивости являются инженерные методы, основанные на силовых схемах равновесия грунтовых массивов:

- устойчивость откоса из идеально сыпучего грунта;
- метод круглоцилиндрических поверхностей;

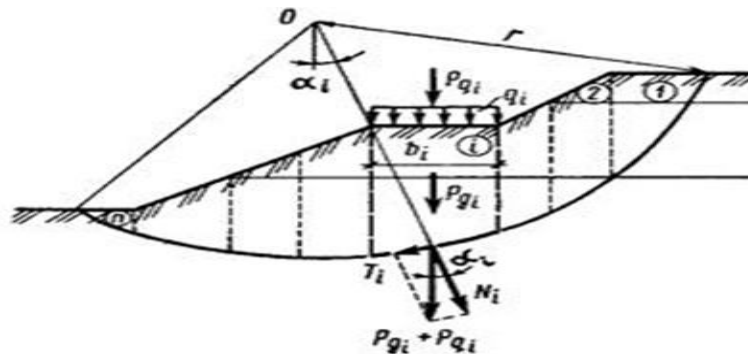
- расчет устойчивости по методу Г.М. Шахунянца;
- устойчивость вертикального откоса в связном грунте;
- метод расчета оползневого давления по гипотезе разрывных блоков;
- метод расчёта с учётом фильтрационных сил.

Откос из идеально сыпучего грунта имеет свободную поверхность, наклоненную к горизонтальной плоскости под углом  $\alpha$ , что показано на рисунке 1.



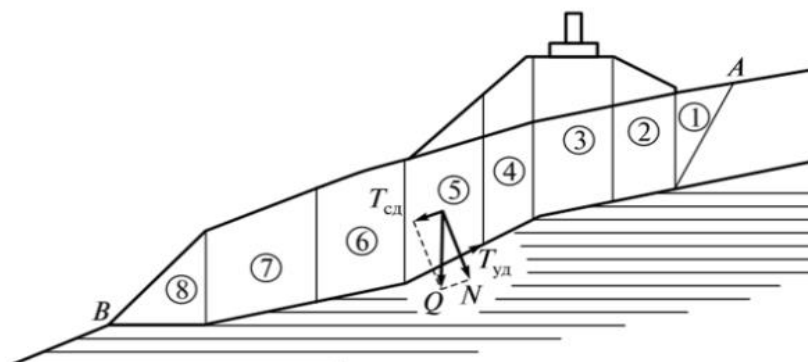
**Рисунок 1 – Предельное равновесие откоса, сложенного идеально сыпучим грунтом.**

При методе круглоцилиндрических поверхностей предполагают, что потеря устойчивости откоса или склона, представленного на рисунке 2, может произойти в результате вращения отсека грунтового массива относительно некоторого центра  $O$ .



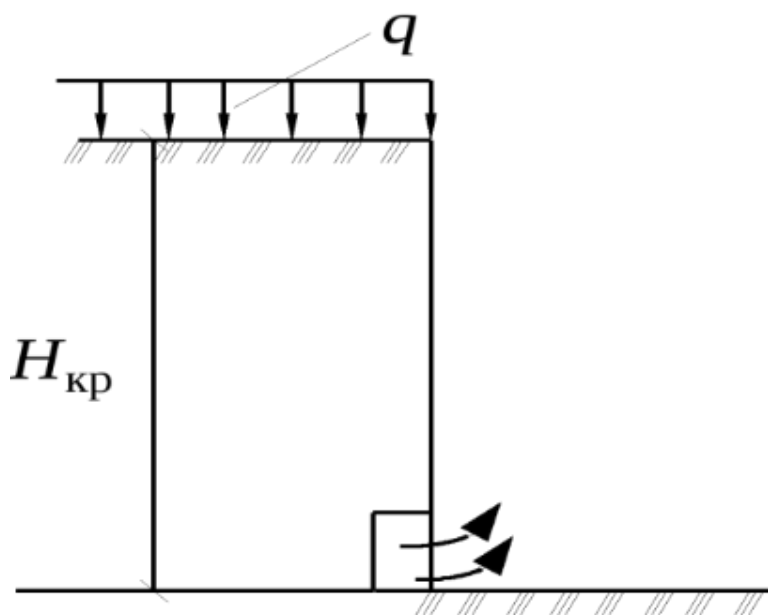
**Рисунок 2 – Расчётная схема устойчивости откосов методом круглоцилиндрических поверхностей скольжения**

Оценка устойчивости по методу Г.М. Шахунянца выполняется из условия равновесия массива смещающегося грунта (блока возможного смещения) с некоторым запасом (см. рисунок 3),



**Рисунок 3 – Схема определения устойчивости по методу Г.М. Шахунянца**

В методике расчета устойчивости вертикального откоса в связном грунте предполагается, что под действием нагрузки на поверхности откоса и веса грунта в наиболее напряженной точке подошвы откоса возникнет предельное напряженное состояние. Поскольку в этой части имеется возможность свободного выпора грунта вправо, представленного на рисунке 4, в этой точке сжимающее напряжение приравнивают к сопротивлению грунта одноосному сжатию.



**Рисунок 4 – Критическая высота нагруженного вертикального откоса связного грунта**

Метод для расчёта оползневой нагрузки произвольной поверхности скольжения является модификацией метода Г.М. Шахунянца. Основная особенность в том, что сопротивления грунта сдвигу считается упругопластическим и возможна ситуация отрыва части оползня (рисунок 5).

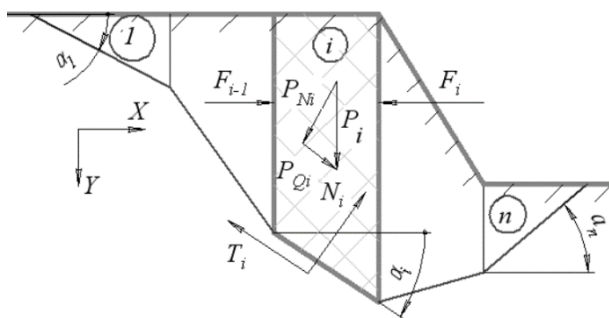


Рисунок 5 – Схема расчёта по методу разрывных блоков

В настоящее время разработано большое количество методических рекомендаций по оценке и прогнозированию устойчивости откосов и склонов карьеров, а также береговых склонов.

В имеющихся методиках основными причинами потери устойчивости откосов и склонов являются:

- устройство недопустимо крутого откоса или подрезка склона, находящегося в состоянии, близком к предельному;
- увеличение внешней нагрузки (возведение сооружений, складирование материалов на откосе или вблизи его бровки);
- изменение внутренних сил (увеличение удельного веса грунта при возрастании его влажности или влияние взвешивающего давления воды на грунты);
- неправильное назначение расчетных характеристик прочности грунта или снижение его сопротивления сдвигу за счет, повышения влажности;
- проявление гидродинамического давления, сейсмических сил, различного рода динамических воздействий (движение транспорта, забивка свай и. т. п.).

В условиях Республики Беларусь наиболее приемлемой методикой расчёта устойчивости откосов является метод Г.М. Шахунянца. Также можно использовать метод круглоцилиндрических поверхностей, но данный метод не годится для промышленных карьеров с обводнённым дном, так как не учитывает подпора воды.

УДК (628.393.614.8)

Г.И. Касперов, доц., канд. техн. наук; У.В. Зязюля, студ.  
(БГТУ, г. Минск)

В.Е. Левкевич, проф., д-р. техн. наук (БНТУ, г. Минск)

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОЦЕНКИ РИСКА ПОДТОПЛЕНИЯ ТЕРРИТОРИЙ ПРИ АВАРИЯХ НА КАРЬЕРНЫХ ВОДОЕМАХ**

В настоящий момент в Республике Беларусь отсутствует методика, позволяющая оценивать и прогнозировать современные опасные геодинамические процессы, имеющие место на карьерных водоемах, которые могут приводить к риск-ситуации и человечески жертвам. Разработка методов оценки деформаций откосов под воздействием природно-техногенных факторов, а также прогнозирование и моделирование их интенсивности и масштабов с оценкой возможного риска на основе данных натурных исследований является актуальной и важной задачей.

В настоящем докладе рассматриваются методические рекомендации по оценке риска и ущерба от подтопления территории, возникающем при создании водоемов различного типа, которые были использованы для условий аварии на карьерном водоеме.

Данная методика включает:

1. Интегральную оценку опасности подтопления территории грунтовыми водами;
2. Интегральную оценку уязвимости территории при ее подтоплении;
3. Интегральную оценку риска подтопления территории;
4. Расчет удельного ущерба селитебных и промышленных зон.

При оценке степени опасности и риска от процесса подтопления указывается на необходимость выявления воздействия на территорию негативных процессов от подтопления и других наведенных им опасных геологических процессов.

При помощи интегральной оценки опасности подтопления составляется карта опасности. В качестве показателей опасности территории принимаются следующие параметры:

1. Положения уровня грунтовых вод, вызывающее процесс подтопления территории;
2. Изменения качества грунтовых вод, приводящее к загрязнению подземных вод, изменению их агрессивности к железобетонным и металлическим конструкциям;

3. Изменение физико-механических свойств грунтов, приводящее к дополнительным осадкам или просадкам, снижению их несущей способности.

Интегральная оценка уязвимости территорий при их подтоплении базируется на делении территории по:

1. Этажности застройки (1 – 2 этажные застройки – код 1, 3 – 5 этажные застройки – код 2, 5 этажные и более застройки – код 1);

2. Типу подземного (подвала) сооружения (отсутствует – код 1, полупроходной – код 2, проходной – код 3);

3. Степени амортизации объекта (меньше 15 % – код 1, 15 – 50 % – код 2, больше 50 % – код 3);

4. Типу фундамента (свая – код 1, плита – код 2, лента – код 3).

Каждый из четырех показателей уязвимости может проявляться независимо от других, а степень уязвимости территории зависит от их комплексного воздействия. Далее для каждой территории создается код, например, 1391 и принимается коэффициент уязвимости ( $x_y$ ). В методике отмечается, что она обладает открытостью, т.е. в ней могут быть учтены и другие факторы, определяющие особенности той или иной территории. Для промышленных зон рекомендуется принимать следующий диапазон измерения коэффициента уязвимости: малая степень уязвимости ( $x_y \leq 0,15$ ), умеренная степень уязвимости ( $0,1 < x_y \leq 0,45$ ), большая степень уязвимости ( $0,45 < x_y \leq 0,9$ ), критическая степень уязвимости ( $x_y > 0,9$ ).

Коэффициент риска подтопления территории ( $R_n$ ) рассчитывается по формуле (1).

$$R_n = \frac{\sum_{i=1}^k v_y \times \lambda_{oi} \times S_i}{S_0}, \quad (1)$$

$$S_0 = \sum_{i=0}^k S_i,$$

где  $S_0$  – площадь территории, для которой определяется коэффициент;  $k$  – число разбиений площади  $S_0$  на непересекающиеся между собой площади  $S_i$  для которых оценены и известны коэффициенты опасности подтопления  $\lambda_{oi}$  и уязвимости подтопления  $x_{yi}$ .

Физический смысл коэффициент  $R_n$  состоит в том, что он выражает долю риска, который возникает при подтоплении территории грунтовыми водами до глубины от поверхности земли менее одного метра. При этом подтапливается селитебная территория с многоэтажной застройкой, которая существует много лет (износ более 50 %), имеет, в основном, ленточные фундаменты и проходные подвальные помещения.

Районирование территории по степени риска подтопления территорий предлагается проводить в следующей градации: малый риск ( $R_n < 0,1$ ), умеренный риск ( $0,1 \leq R_n < 0,25$ ), большой риск ( $0,25 \leq R_n < 0,5$ ), критическая ситуация ( $R_n \geq 0,5$ ).

Ущерб территории от подтопления предлагается определять при условии расчета коэффициента риска подтопления рассматриваемой территории ( $R_n$ ). Для этого необходимо определить коэффициент риска для эталонной территории  $R_{n \text{ эм}}$ , при этом исходим из того, что ущерб от подтопления заранее известен. Определяем по формуле (2) удельный ущерб территории.

$$Y_{эм} = q \times Y_i, \quad (2)$$

где  $q$  – коэффициент, учитывающий территориальные условия конкретного города (табличная величина);  $Y_i$  – удельная величина ущерба, зависящая от численности населения города (его категории) и уровня грунтовых вод.

Определяем опасность подтопления территории  $l_o$ , и коэффициент уязвимости подтопления территории  $x_y$ .

Коэффициент риска подтопления территории определяется по формуле (3).

$$R_{ni} = l_o \times x_y, \quad (3)$$

Удельный ущерб от подтопления территории определяется по формуле (4).

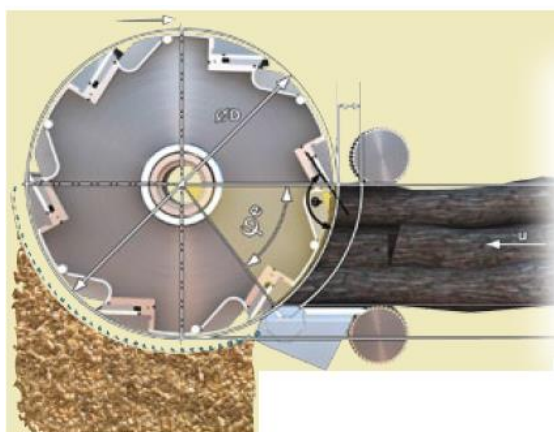
$$Y = (Y_{эм} \times R_n) / R_{n \text{ эм}}, \quad (4)$$

где  $Y_{эм}$  – удельный ущерб подтопления эталонной территории;  $R_{n \text{ эм}}$  – коэффициент риска подтопления территории.



## ТЕХНОЛОГИЯ ПОВЫШЕНИЯ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА МЕТОДОМ САМОАДАПТИВНОГО РЕЗАНИЯ ДРЕВЕСИНЫ

Деление древесины – сложный процесс взаимодействия инструмента с обрабатываемым материалом, при котором режущая часть инструмента испытывает высокие динамические нагрузки, влияющие как на его прочность, так и на долговечность. Высокие скорости резания и динамика взаимодействия приводят к разрушающему эффекту, воздействию на инструмент со стороны обрабатываемого материала (рисунок 1).



Разрушение режущей кромки

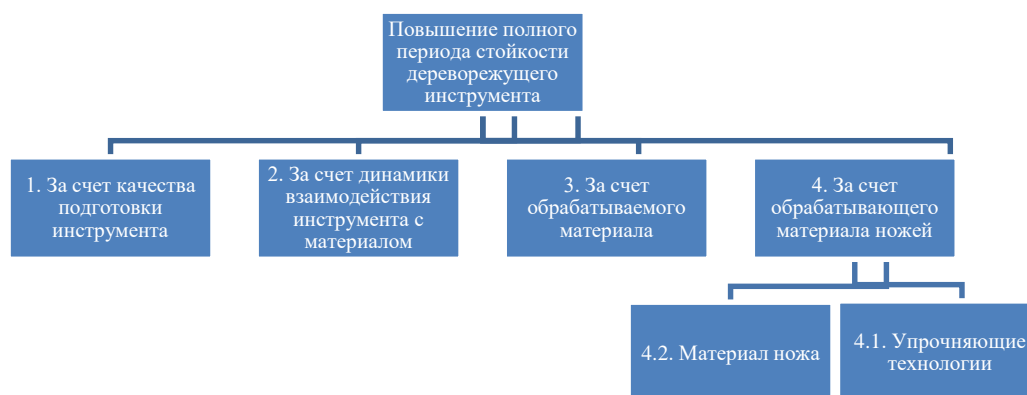
**Рисунок 1 – Характер деления древесины методом фрезерования**

Повышение долговечности использования режущего инструмента является актуальной задачей, стоящая перед деревообрабатывающими предприятиями, поскольку напрямую влияет на производительность оборудования и себестоимость обработки. В настоящее время проблему повышения износостойкости в большей степени решают с использованием упрочняющих технологий [1, 2] и выбором специальных материалов [3], способных противостоять высоким ударным нагрузкам.

Представим следующую систематизацию технологий повышения износостойкости дереворежущего инструмента (рисунок 2).

В данной работе проблему износостойкости и прочности фрезерного дереворежущего инструмента предлагается решить за счет применения механизмов самоадаптации, при которых инструмент «имеет»

возможность самостоятельно приспосабливаться к «неблагоприятным» условиям взаимодействия с древесиной.

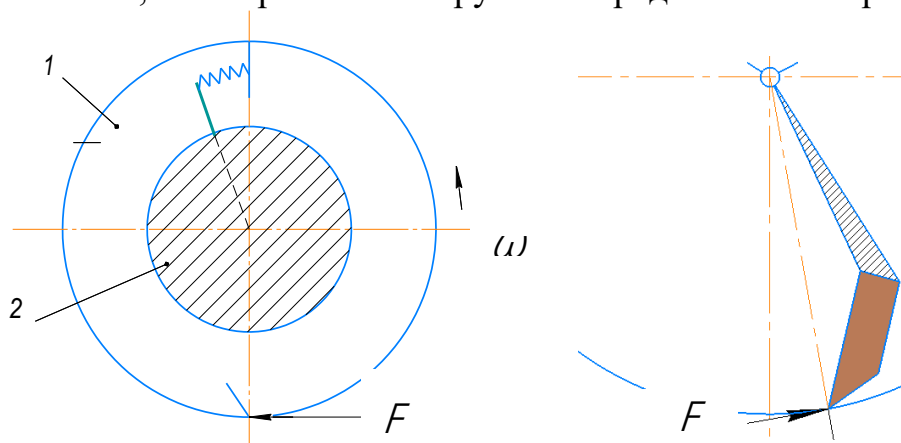


**Рисунок 2 – Способы повышения полного периода стойкости инструмента**

На основании предлагаемой классификации, представленной на рисунке 2, в работе уделяется второму направлению повышения износостойкости инструментальных материалов.

Снижение динамики взаимодействия режущего инструмента с обрабатываемым материалом позволяет снизить силы, действующие на режущие кромки инструмента и тем самым уменьшить скорость увеличения радиусов закругления режущей кромки. Достигнуть этого можно благодаря использованию специальных конструкций инструмента, позволяющих снизить динамику ударных нагрузок.

Условно, схема работы инструмента представлена на рисунке 3.



1 – Подвижная относительно приводного вала часть инструмента

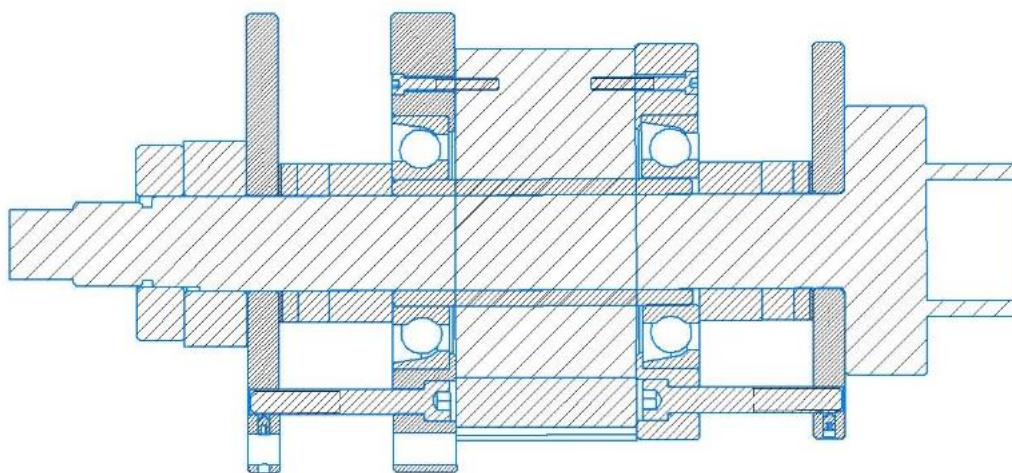
2 – Фиксированная с приводным валом часть инструмента

**Рисунок 3 – Схема самоадаптивного инструмента**

Это объясняется тем, что в начале дуги контакта инструмент, отклоняясь от нагрузки «уходит» от ее ударного действия, накапливая

энергию не в материале ножа, а в упругом элементе, который обеспечивает жесткость системы «нож-привод». Наличие в древесине различных неоднородностей и включений будут в основной степени способствовать изменению амплитуды колебаний нежели на форму кривой сил резания. Тем самым происходит перераспределение энергии ударного импульса с ножа на упругие элементы, что положительно будет влиять на стойкость дереворежущего фрезерного инструмента в целом.

Один из типов таких инструментов, который можно внедрить в производство, представлен на рисунке 3.



**Рисунок 3 – Схема самоадаптивного инструмента**

Использование торсионного механизма при осуществлении адаптивного фрезерования древесины позволяет снизить ударные нагрузки, действующие на инструмент и тем самым повысить его износостойкость. При соблюдении необходимых параметров обработки можно обеспечить также и улучшение качества получаемых поверхностей за счет снижения высоты кинематических неровностей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение металлов. М., Машиностроение, 1986 г., 320 с.
2. Балановский А.Е. Плазменное поверхностное упрочнение металлов. Иркутск. Изд-во ИрГТУ. – 2006 – 180 с.
3. 38. Das Leitz-Lexikon / Edition 4 / Русская версия.- Leitz, 2006. – 832 с.

И. К. Клепацкий, ассист.;  
В. В. Раповец, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

### МОДЕЛЬ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОТЕРИ РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НОЖАМИ ФРЕЗЕРНО-БРУСУЮЩЕЙ МАШИНЫ

Широкое распространение метода наименьших квадратов (МНК) при обработке результатов научных экспериментов [1] получило благодаря различным подходам к исходным наборам известных/неизвестных величин и обработке измерений с извлечением информации о точности измерений.

Проведены прямые измерения [2] радиусов округления режущей кромки ножей для агрегатной обработки древесины сосны малоножевым фрезерным инструментом в определенные моменты времени их работы. По результатам измерений получен массив данных для расчёта математической модели технологической стойкости режущей кромки по МНК [3,4].

Для построения аппроксимационной зависимости с среде *MSExcels* была выбрана точка  $x(\rho_1)$  лезвия ножа на расстоянии  $l=1$  мм от края режущей кромки (рис. 1) и данные этой точки по потере режущей способности, собранные в течении пяти рабочих смен (40 ч.) от и до моментов переподготовки ножа на производстве (табл. 1). В качестве сравнительного параметра  $y$  выбран суммарный путь резания, пройденный этой точкой.

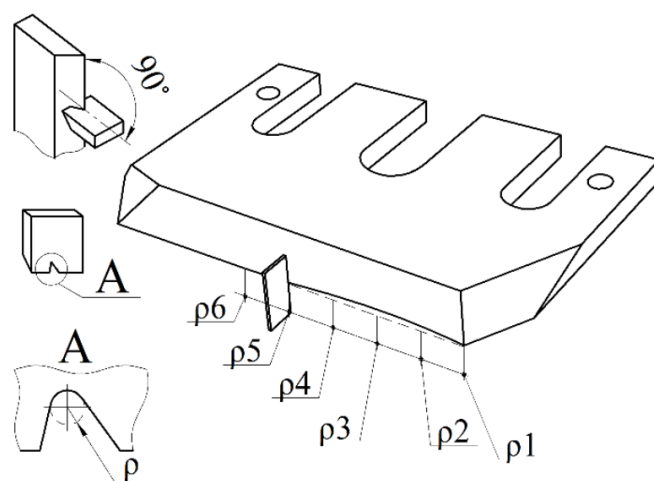


Рисунок 1 – Точка  $x(\rho_1)$  на кромке ножа

Таблица 1 – Радиусы округления режущей кромки ножа, мкм

$x$ , мкм	45	75	90	115	160
$y$ , м	20724,19	31388,62	39465,24	53504,75	67789,75

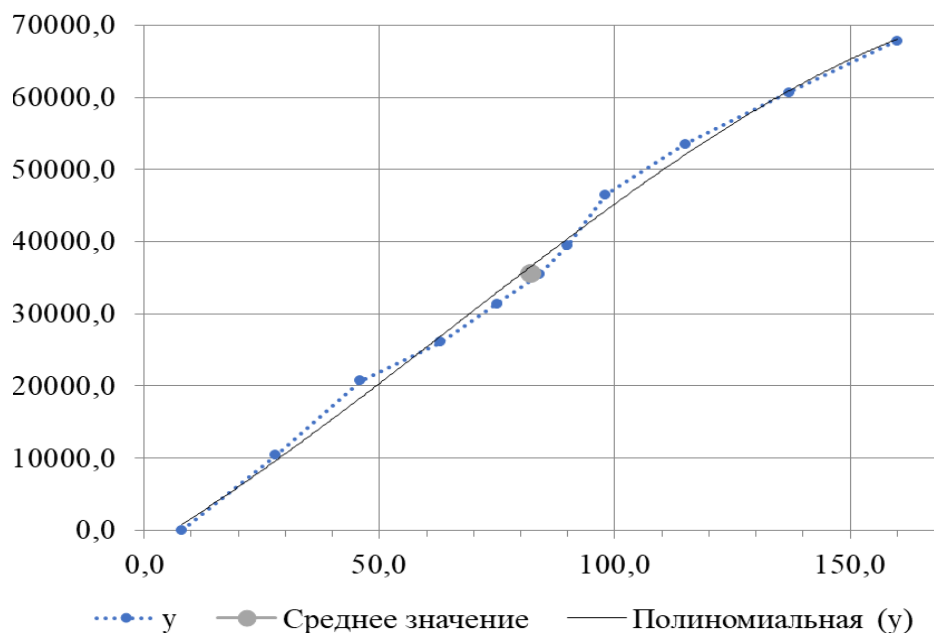


Рисунок 2 – Аппроксимационная зависимость радиуса округления режущей кромки от суммарного пройденного пути резания

По результатам проведенных производственных испытаний и расчётам МНК была получена математическая полиномиальная зависимость (1) вида:

$$y = -0,0093x^3 + 1,8095x^2 + 388,0548x - 2415,5903 \quad (1)$$

по итогу вычисления которой возможно определить теоретический радиус округления точки на режущей кромке в зависимости от пройденного пути резания её в древесине сосны.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Линник Ю. В. Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений. 2-е изд. – М.: Гос. изд-во физ.-мат. лит, 1962. 354 с.
2. 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.
3. Митин И.В., Русаков В.С. Анализ и обработка экспериментальных данных. 2-е изд. – М.:Физ. фак. МГУ, 2004. – 44 с.

В. В. Раповец, доц., канд. техн. наук;  
Б. М. Розин, вед. науч. сотр., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

## МЕТОД РОБАСТНОЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ОБРАБОТКИ

В реальных задачах оптимизации данные обычно неточны, в результате точно неизвестно, когда решение найдено [1, 2]. При традиционном подходе «небольшая» (доли процентов) неопределенность данных просто игнорируется, и проблема решается так, как если бы номинальные данные были идентичны фактическим данным [1]. Таким образом, в приложениях существует реальная потребность в методологии, которая дает робастные (т.е. надежные) решения.

Целью такого моделирования является повышение устойчивости оптимальных параметров технологического процесса по отношению к неопределенности исследуемой характеристики.

Предлагаемый робастный подход к решению задачи оптимизации с неопределенными характеристиками, входящими в целевые функции и ограничения задачи, основывается на построении выпуклых либо вогнутых оболочек в зависимости от типа ограничения, в которое входит характеристика, характера ее влияния на целевую функцию задачи.

Приведем алгоритм построения вогнутой оболочки многогранным множеством на двумерной сетке экспериментальной характеристики  $F(x, y)$ , входящей в ограничение в модели задачи:

$$F(x, y) \leq \bar{F}.$$

Предполагается, что формируемая аппроксимация является непрерывной и вогнутой функцией по каждой из своих переменных  $x, y$  функцией. При этом никаких предположений на характер исходной экспериментальной зависимости не накладывается.

Приведенный ниже алгоритм строит по экспериментальным значениям  $F(x_i, y_k)$  функции  $F(\cdot, \cdot)$  функцию  $\tilde{F}(x_i, y_k)$  для всех  $i=1, \dots, n, k=1, \dots, m$  такую, что она является вогнутой по  $x_i$  при любом фиксированном  $y_k, k=1, \dots, m$  и вогнутой по  $y_k$  при любом фиксированном  $x_i, i=1, \dots, n$ .

Алгоритм заключается в итеративной по координатной корректровке значений аппроксимируемой функции.

Сравнительный анализ результатов решения исходной оптимизационной задачи и робастного решения

*Для исходной постановки задачи.*

Найденные оптимальные параметры:

Время между сменами инструмента=480 (мин).

Угол между задней кромкой резца и поверхностью обработки=20 град.

Толщина срезаемого слоя=1 мм.

Толщина стружки=0.299 мм.

Скорость резания=25.228 м/сек.

Энергопотребление=0.6128 кВт·час/см.

*Для робастной постановки задачи.*

Найденные оптимальные параметры:

Время между сменами инструмента=480 (мин).

Угол между задней кромкой резца и поверхностью обработки=20 град.

Толщина срезаемого слоя=1 мм.

Толщина стружки=0.299 мм.

Скорость резания=25.228 м/сек.

Энергопотребление=0.6239 кВт·час/см.

Вывод: Для того же режима фрезерования энергопотребление возросло на 1.8%.

Для разработанной ранее модели многокритериальной оптимизации параметров режимов технологических процессов деревообработки [3] предложен метод повышения надежности решения, основанный на построении вогнутой (либо выпуклой) оболочки экспериментально получаемых характеристик процесса.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Ben-Tal, A., Nemirovski, A. Robust Optimization — methodology and applications. Math. Progr. Series B 92 (2002), 453–480.
2. Ben-Tal, A., Nemirovski, A. Robust solutions of uncertain linear programs. OR Letters 25 (1999), 1–13.
3. Раповец, В. В. Многокритериальная оптимизация режимов деревообработки фрезерованием / В. В. Раповец, Б. М. Розин, Н. Н. Гущинский // Технология и техника лесной промышленности : материалы докладов 83-й научно-технической конференции профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов (с международным участием), Минск, 4-14 февраля 2019 г. - Минск : БГТУ, 2019. - С. 102-103.

А.А. Гришкевич, доц, канд. техн. наук;  
Д.Л. Болочко, асп. (БГТУ, г. Минск)

## СТАБИЛИЗАЦИЯ ПЕРЕХОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЛЕЗВИЯ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА, ОПРЕДЕЛЯЮЩАЯ ЕГО ПЕРИОД СТОЙКОСТИ

Увеличение ресурса работы режущих элементов дереворежущего инструмента за полный период стойкости является актуальной задачей.

Изнашивание – сложный физико-механический процесс отделения от лезвия частиц материала. В зависимости от величины отделяемых частиц различают скол (разрушение за пределами контакта лезвия с обрабатываемым материалом), выкрашивание (разрушение в пределах контакта лезвия с обрабатываемым материалом) и, наконец, истирание (разрушение и отделение частиц материала, сопоставимых с высотой неровностей поверхности лезвия) [1].

На блок-схеме представлены основные факторы, влияющие на процесс износа лезвия инструмента (рисунок 1).

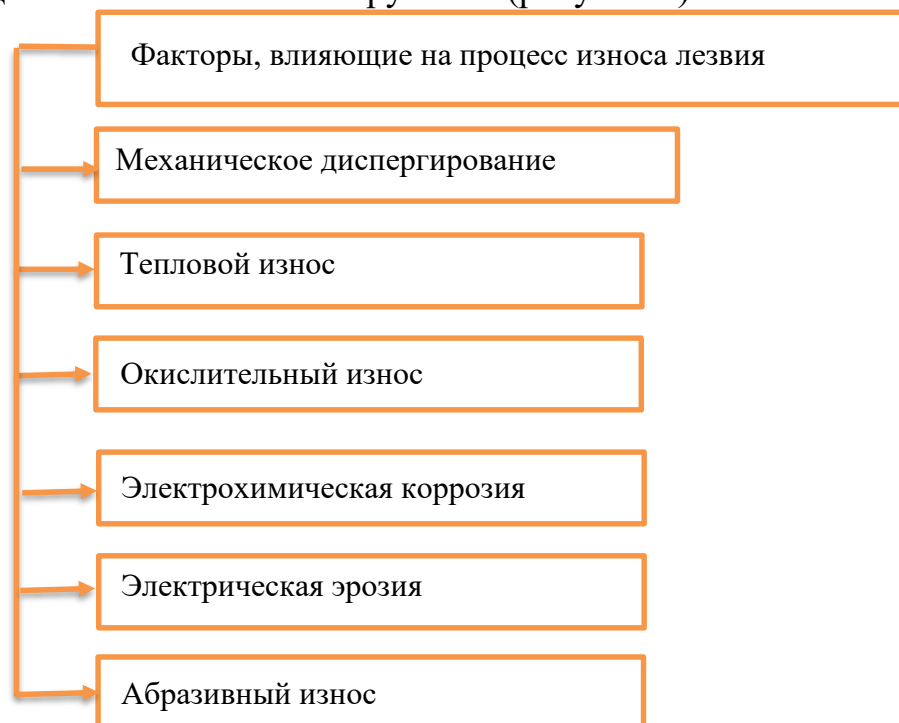


Рисунок 1 – Факторы, влияющие на процесс износа лезвия

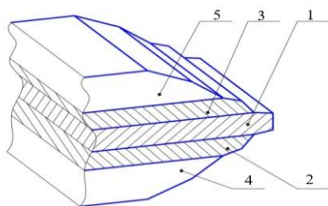


Весь период стойкости лезвия инструмента можно разделить на три этапа износа: 1) период приработки; 2) период монотонного износа; 3) аварийный период [2].

Износ лезвия на первом этапе происходит главным образом в результате обломов или отгибов. Это изменение формы режущей кромки происходит на отдельных ее участках. Сначала на ней возникают, выкрашены малых размеров и глубин, затем с увеличением сил резания образуются выломы больших размеров.

Износ на втором этапе протекает в сложных условиях, когда при резании древесины одновременно проявляют себя несколько факторов: высокое давление, температура на поверхности лезвий (около 240...840°C), окисление, действие статического электричества, электрохимическая коррозия и другие.

Одним из вариантов решения проблемы, связанной с аварийным износом, является создание конструкции ножа с переходной поверхностью (рисунок 2).



**Рисунок 2 – Нож с переходной поверхностью**

Представленный нож состоит из: внутреннего слоя 1, выполненного из твёрдого материала (например, карбид вольфрама), наружных слоев 2, 3 из алюминия, стали или другого материала, менее твёрдого, чем внутренний слой и внешних слоев 4, 5 из ещё более мягкого материала (например, дюралюминия) [3].

Таким образом, использование ножа с переходной поверхностью позволит обеспечить неизменный радиус округления режущей кромки в процессе работы благодаря наличию в конструкции разнородных материалов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Зотов Г.А., Памфилов Е.А. Повышение стойкости дереворежущего инструмента / Г.А. Зотов, Е.А. Памфилов. М.: Экология, 1991. – 304 с.
2. Глебов И. Т. Расчет режимов резания / И. Т. Глебов. Монография. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2005. – 155 с.
3. Patent No.: US 6,207,294 B1 Philip A. Rutter, Self-sharpening, laminated cutting tool and method for making the tool.

А. А. Гришкевич, доц., канд. техн. наук;  
Т. А. Машорипова, асп. (БГТУ, г. Минск)

## ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ УГЛА НАКЛОНА РЕЖУЩЕЙ КРОМКИ К ОСИ ВИНТОВОГО СВЕРЛА НА УГОЛ РЕЗАНИЯ

Сверление – один из старейших и весьма распространенных методов механической обработки древесных материалов с целью получения отверстий. Формы и конструкции современного инструмента для обработки отверстий достигли значительного развития в связи с многочисленными технологическими задачами различных направлений деревообрабатывающей промышленности. И все же наиболее широко применяются винтовые сверла, представляющие довольно сложный режущий инструмент, который работает в более тяжелых условиях по сравнению с фрезерным, пильным и токарным инструментами [1, 2].

Конструкция сверла определяется его технологическим назначением: видом обрабатываемого материала, направлением сверления относительно волокон древесины или плоскостям древесной плиты (в пласть или кромку) и другое [3]. Это связано с образованием и отводом стружки, силовыми и температурными напряжениями, которые, в свою очередь, зависят от угла резания  $\delta$  и угла наклона винтовой канавки  $\omega$ .

Целью данной работы является определить зависимость угла резания  $\delta$  от угла наклона винтовой канавки  $\omega$ .

Аналитическая зависимость угла резания и контурных углов винтовой канавки может быть определена графическим способом, приведенным ниже.

На рисунке 1 представлено спиральное сверло с конической заточкой и углом подъема винтовой канавки  $\tau$  и углом при вершине  $\varphi=2\cdot\varepsilon$ .

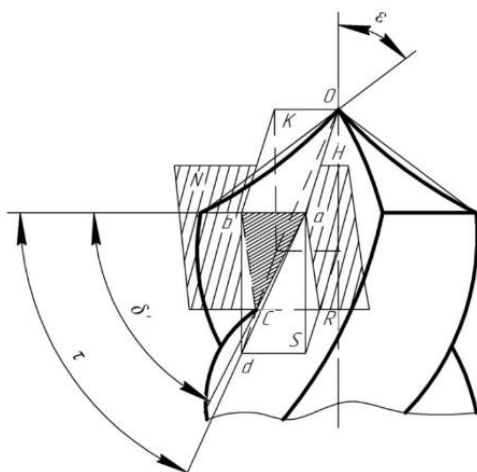
Для определения угла  $\delta'$  строим на режущей кромке ряд плоскостей, образующий параллелепипед,

Образованный данными плоскостями параллелепипед включает в себя следующие углы:  $\angle abc$ ,  $\angle bcd$ ,  $\angle bac$  в прямоугольных треугольниках  $Vabc$ ,  $Vabd$ ,  $Vbcd$ .

$$\angle bdc = -\frac{\varphi}{2} = \varepsilon, \tag{1}$$

$$\angle bad = \angle \tau, \tag{2}$$

$$\angle bac = \delta'. \tag{3}$$



**Рисунок 1 – Графическое изображение контурных и пространственных углов резания**

Проведя анализ, получим, что угол резания будет равен:

$$\delta' = \arctg(\sin \varepsilon \cdot \operatorname{ctg} \omega). \quad (4)$$

Выводы по работе:

1. В данной работе установлена зависимость угла резания  $\delta$  от угла наклона винтовой канавки  $\omega$ . С увеличением угла наклона винтовой канавки угол резания уменьшается.
2. С уменьшением угла резания уменьшается крутящий момент  $M_{ок}$ , Н·м, и осевое усилие  $F_0$ , Н., вследствие чего повышается качество при сверлении.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Грубе, А.Э. Дереворежущие инструменты. – М.: Лесная промышленность, 1971. – 339 с.
2. Амалицкий В.В. Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий / В.В. Амалицкий, В.И. Санев – М: Экология, 1992 – 480с.
3. Раповец, В.В. Проектирование и производство деревообрабатывающего инструмента : учеб.-метод. пособие по выполнению курсовых и дипломных проектов для студентов специальности 1-36 05 01 «Машины и оборудование лесного комплекса» специализации 1-36 05 01 03 «Машины и оборудование деревообрабатывающей промышленности» / сост. В. В. Раповец. – Минск: БГТУ, 2015. – 74 с.

УДК 621.762.2

Д. В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
 Н.А. Свидуневич, проф., д-р техн. наук; Г. П. Окатова, ст. науч. сотр.;  
 А.С. Раковец, ассист.; Ю.Г. Рудько, магистрант;  
 Д.Д. Гордиенко, студ. (БГТУ, г. Минск)

## **ТЕХНОЛОГИЯ СИНТЕЗА В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ И ТЕМПЕРАТУР МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ НАНОУГЛЕРОДА, БОРА, ПОРОШКОВ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА**

Методом высокоэнергетической консолидации путем легирования бором ранее [1] полученного композита на основе экстрагированной фуллереновой сажи  $C_{Эфс}-10\%Fe$  получен новый сверхлегкий, изотропно высокотвердый углерод-бор-железный аморфно-нанокристаллический композит с высокой трещиностойкостью и упругостью состава  $C_{Эфс}-10\%B-10\%Fe$ .

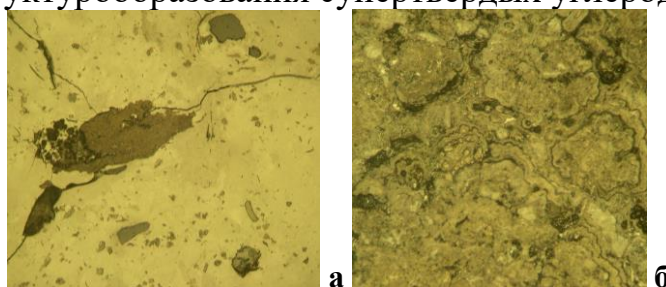
Композит C-B-Fe имеет высокотвердую аморфную углеродную основу, заполненную упрочняющими ее кристаллитами карбидов и боридов Fe и карбоборидов различной степени дисперсности, включениями супертвердых частиц углеродной фазы и частицами на основе Fe-C.

В лучших образцах композита микротвердость  
 – включений супертвердых частиц – до 100 ГПа,  
 – аморфной углеродной фазы-основы – в пределах 29...89 ГПа,  
 – частиц на основе Fe-C – 11,95...15,75 ГПа, что в ~1.5–2 раза выше обычного карбида железа.

При всей положительности характеристик полученного композита он имеет существенный недостаток – пониженную режущую способность в сравнении с полученными нами ранее образцами на основе Fe-10%  $C_{MWNT}$  (многостенные нанотрубки), которые имели существенно более высокую режущую способность – на стекле делались надрезы краем образца и затем по этим резам получался надлом.

При выполнении работ в 2020 г. в качестве исходных компонентов для получения образцов гетерофазных композитов использовался только нанодисперсный углерод (не содержащая фуллеренов экстрагированная фуллереновая сажа) без добавок бора и переходных металлов. Образцы композита не имеют зерненной структуры – ни до, ни после травления она не выявлена, что характерно для аморфного состояния. Композиты представляют собой сплошную углеродную серую фазу-ос-

нову, содержащую ряд ее модификаций различных оттенков (супертвердые частицы с различной морфологией поверхности (рисунок 1) – рельефы «зигзаг» и «крапчатый», «гладкая темно-серая фаза» с острой или округлая (мало частиц). Определено, что по структурному состоянию и уровню свойств (**Н<sub>100</sub> фазы основы до 20 ГПа, меньшее количество сверхтвердой фазы с Н<sub>100</sub> до 60-80 ГПа, недостаток в режущей способности**) полученные образцы уступают композитам с добавками бора и железа, что подтверждает ранее выдвинутую гипотезу о механизме структурообразования супертвердых углеродных частиц.



**Рисунок 1 – Микроструктура образца Эфс25 в СМ:  
а – общий вид, x100; б – сверхтвердая фаза, x500**

Проведенные исследования в совокупности с ранее полученными результатами по данной тематике позволяют научно-обоснованно определить составы и технологические режимы получения разрабатываемых композитов: проведение спекания образцов композита СЭфс+3-7%В+20-50%Fe при повышенных температурах (1300-1500°C от 30 до 120 с) с обеспечением получения образцов с увеличенным до 30–40% количеством равномерно распределенных особотвердых частиц на основе нового по структуре и свойствам "карбида железа" с аморфизированным углеродным слоем на поверхности частиц Fe и микротвердостью HV300-500 до 100 и > ГПа.

Полученный композит по своему структурному состоянию, изотропной супертвердости, трещиностойкости и упругости, низкой плотности может иметь широкое применение как износостойкий, абразивный и конструкционный материал, изготовленный на дешевом безфлуореновом сырье.

## ЛИТЕРАТУРА

1. D. V. Kuis, G. P. Okatova, N. A. Svidunovich, A. S. Rakavets, V. S. Urbanovich, A. I. Sedov, S. N. Lezhnev, E. A. Panin Structure formation of composite based on nanocarbon with the addition of iron-doped amorphous boron in conditions of high pressures and temperatures // Nano-science and Technology: An International Journal, Volume 10, Issue 4, 2019. P. 339–353.

УДК 621.793.182

С.Д. Латушкина, доц., канд. техн. наук  
(ГНУ «Физико-технический институт НАН Беларуси», г. Минск);  
Д. В. Куис, доц., канд. техн. наук; А.С. Раковец, ассист.;  
А.С. Кравченко, инж., канд. техн. наук;  
Гордиенко Д.Д., студ. (БГТУ, г. Минск)

**МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ ЗАЩИТНЫЕ  
ВАКУУМНО-ПЛАЗМЕННЫЕ ПОКРЫТИЯ НА ОСНОВЕ  
ВЫСОКОЭНТРОПИЙНЫХ СПЛАВОВ  
ДЛЯ ТЕПЛОАГРУЖЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ И ИНСТРУМЕНТОВ,  
РАБОТАЮЩИХ В УСЛОВИЯХ КОРРОЗИОННО-  
МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ**

Классическим методом изменения (повышения) физико-механических характеристик сплавов является комплексное легирование твердого раствора на основе кристаллической решетки основного элемента сплава. Увеличение количества легирующих элементов, повышения их содержания в сплаве изменяет характер межатомных взаимодействий в сплаве. Особенно сильно это проявляется в сплавах, содержащих легирующие элементы, энтропия смешения которых положительна и концентрация каждого элемента составляет 5-30% (высокоэнтропийные сплавы). Вследствие изменения характера межатомных взаимодействий резко возрастает термическая устойчивость, твердость, коррозионная стойкость таких сплавов и они конкурируют с лучшими специальными сплавами.

Стабильность структуры и состава, а также высокие эксплуатационные характеристики высокоэнтропийных систем дают большие перспективы для формирования на их основе тонкопленочных покрытий, обладающих всеми преимуществами высокоэнтропийных сплавов [1-2].

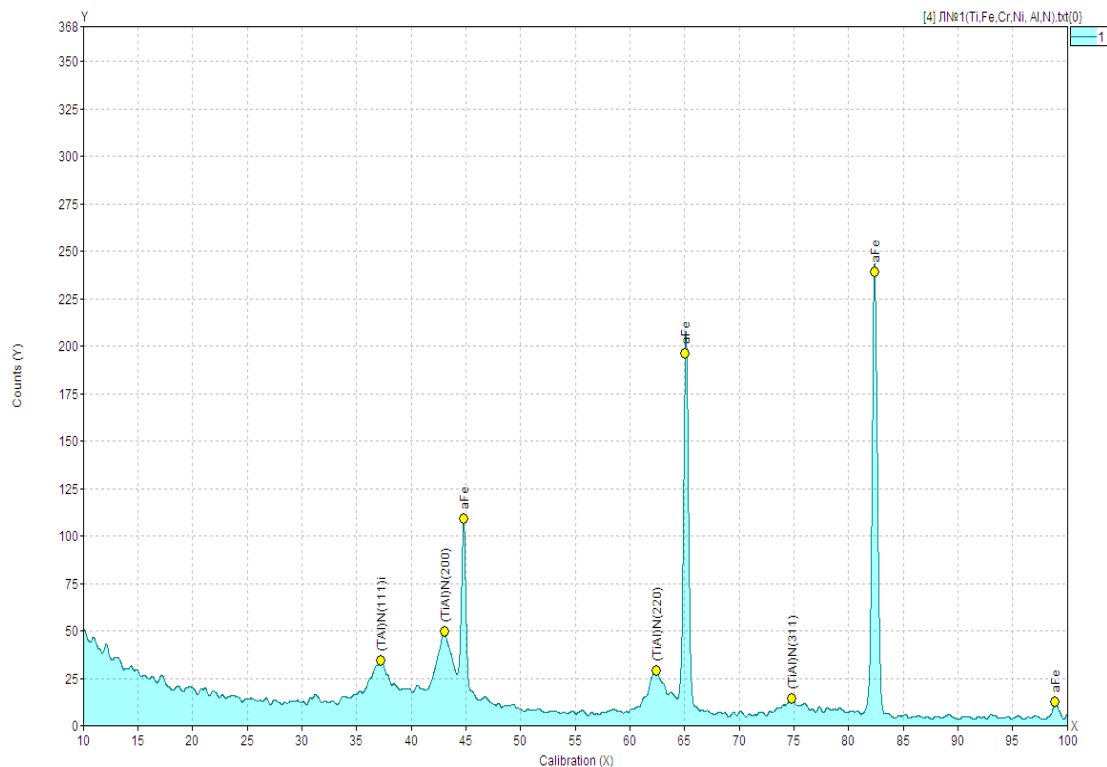
На основе анализа физико-механических свойств материалов и технологических возможностей метода вакуумно-плазменного осаждения выбран состав высокоэнтропийного соединения (ВЭС) Al, Ti, Fe, Cr, Ni для формирования покрытия (Al, Ti, Fe, Cr, Ni) N, способного обеспечить улучшенные эксплуатационные свойства деталей, работающих в условиях высоких температур.

Определено, что ВЭС покрытия, осажденные в азотной атмосфере, являются однофазными с кубической ГЦК-решеткой (структурный тип NaCl). Для всех исследованных в работе покрытий, формиру-

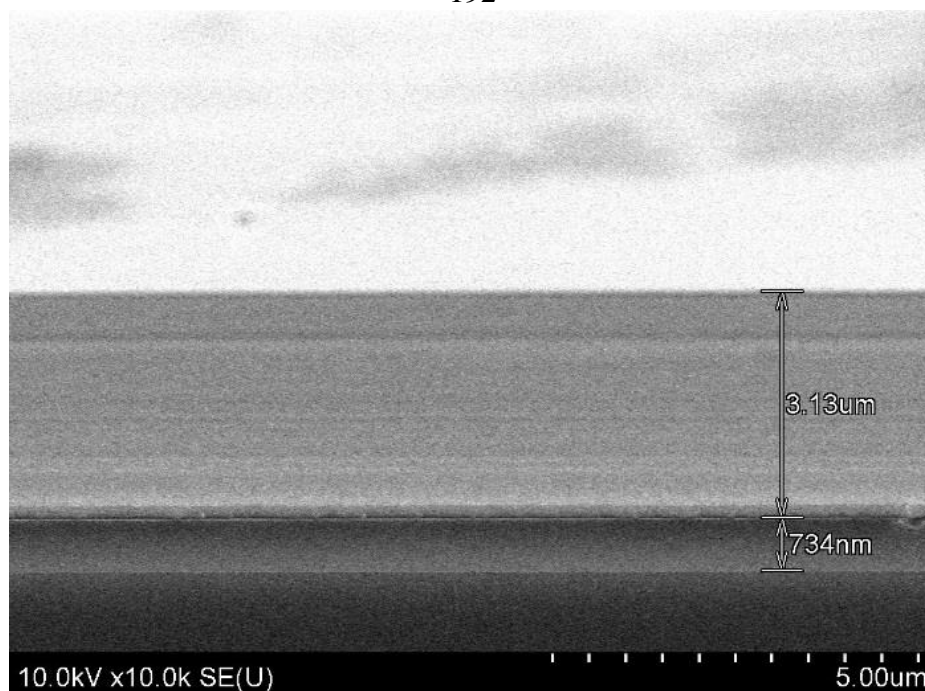
ется текстура деформации с осью, перпендикулярной поверхности роста. На субструктурном уровне в покрытиях НВЭС повышение давления азота приводит к увеличению размеров кристаллитов и релаксации микродеформации. По абсолютной величине микродеформация в таких покрытиях выше, чем для моонитридов. Это связано с наличием в кристаллической решетке ВЭС покрытий нескольких элементов с существенно отличающимися атомными радиусами.

Изучено влияние технологических режимов вакуумно-дугового осаждения с сепарацией плазменного потока на структуру, фазовый состав и показатели свойств покрытий (Al, Ti, Fe, Cr, Ni) N.

Установлено, что в изученном интервале токов дугового разряда фазовый состав формируемых покрытий (рисунок 1) представляет твердый раствор (Ti Al) N с параметром решетки 4,2129 – 4,2145 нм и размером зерна 8,0 – 25,0 нм. Структура покрытий плотная, однородная (рисунок 2), что должно положительным образом сказаться на термической стойкости изделий с такими покрытиями.



**Рисунок 1 – Рентгенограмма покрытия  
(Al, Ti, Fe, Cr, Ni) N**



**Рисунок 2 – Структура покрытия (Al, Ti, Fe, Cr, Ni) N**

Определено, что увеличение тока дуги титанового катода способствует значительному увеличению содержания титана, уменьшению содержания алюминия до оптимального уровня в составе покрытия и тем самым повышению микротвердости формируемых покрытий до 40 ГПа, что хорошо согласуется с результатами фрикционных испытаний.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Senkov O.N., Scott J.M., Senkova S.V. Miracle Microstructure and room temperature properties of a hightentropy TaNbHfZrTi alloy // J. of Alloys and Com pounds. – 2011. – V. 509. – P. 6043–6048.
2. Wang X.F., Zhang Y., Qiao Y., Chen G.L. // Intermetallics. – 2007. –Vol. 15. – P. 357–362.



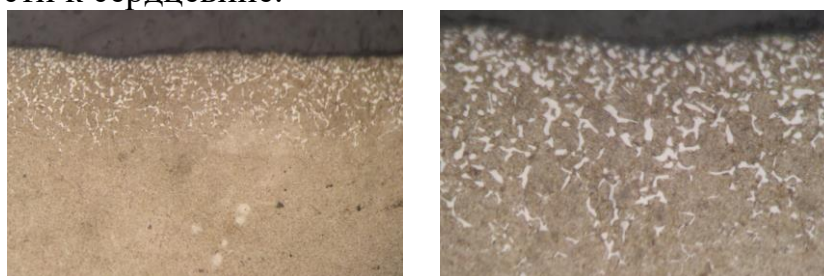
Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
Н.А. Свидуневич, проф., д-р техн. наук;  
А.С. Раковец, ассист.; Исаков В.А., студ. (БГТУ, г. Минск);  
И.Н. Степанкин, доц., канд. техн. наук;  
Е.П. Поздняков, ст. преп. (ГГТУ им. П.О. Сухого)

## **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И ПОКАЗАТЕЛИ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННЫХ СЛОЕВ СТАЛИ 40X И ЕЕ АНАЛОГА СТАЛИ 42CrMoS4**

При выборе материалов для изготовления различных деталей конструкционного назначения достаточно широкое распространение получили улучшаемые стали 40X, 35ХГСА, 40ХН и их аналоги [1]. Дополнительное легирование сильными карбидообразующими элементами позволяет применять их в качестве сплавов при производстве деталей машин, а также деталей инструментальной оснастки, эксплуатация которых проходит в условиях трения или циклического нагружения поверхностного слоя. В настоящее время на ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга БМК», г. Жлобин отлажена технология плавки новой марки стали 42CrMoS4 в соответствии с DIN EN 10083, экспортируемой на европейский рынок. В ее химическом составе присутствует молибден, который способствует значительному измельчению аустенитного зерна на стадии нагрева под закалку из-за образования труднорастворимого карбида  $Mo_2C$  [1, 2]. Однако поведение стали 42CrMoS4 при различных эксплуатационных характеристиках мало освещено в технической и научной литературе, что является дополнительным препятствием для ее применения отечественными предприятиями.

С использованием современных методик и оборудования были проведены сравнительные исследования влияния режимов термохимической обработки (цементация различной продолжительности, закалка в масле с температуры 860°C и отпуск (200, 400, 600°C) на структурообразование, фазовый состав и свойства поверхностных слоев стали 42CrMoS4, выпускаемой в соответствии с DIN EN 10083 и как аналога стали 40X, выпускаемой в соответствии с ГОСТ 4543. Определено, что морфология модифицированных поверхностных слоев изучаемых сплавов (рисунок 1-2), вследствие развитой системы границ между кристаллитами, является структурой сложного фазового состава (карбида,  $\alpha$ - и  $\gamma$ -твердые растворы). Установлено, что увеличение температуры отпуска мало повлияло на общую толщину модифицированных слоев и оказало незначительное влияние на объемную долю карбидной фазы,

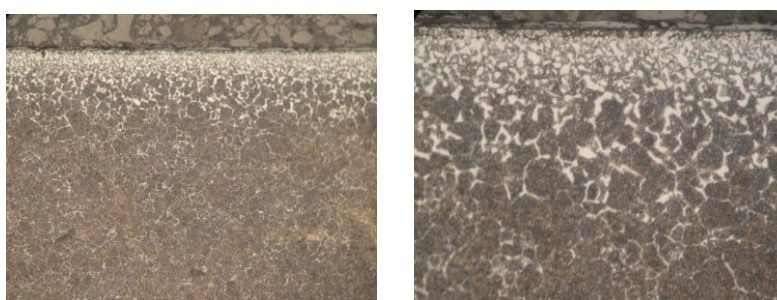
способствовало ее сфероидизации и снижению градиента твердости от поверхности к сердцевине.



а

б

**Рисунок 1 – Микроструктура в СМ науглероженного слоя стали 42MoCrS4 после закалки и низкотемпературного отпуска: а – х200, б – х500**



а

б

**Рисунок 2 – Микроструктура в СМ науглероженного слоя стали 40X после закалки и высокотемпературного отпуска: а – х200, б – х500**

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.

Результаты исследований на контактное изнашивание послужат ориентиром для формирования служебных свойств деталей машин, технологической и инструментальной оснастки для промышленных предприятий.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Свидунович, Н.А., Витязь, П.А., Войтов, И.В., Куис, Д.В., Мюрек, М.Н. Выбор и применение материалов : учеб. пособие. В 5 т. Т. 2. Выбор и применение конструкционных сталей. – Минск: Беларуская навука, 2019. – 625 с.

2. Жарский, И.М., Иванова, Н.П., Куис, Д.В., Свидунович Н.А. Материаловедение: учеб. пособие с грифом Минобразования. – Минск: Вышэйшая школа, 2015. – 557 с.

УДК 620.178.3

Д.В. Куис, доц., канд. техн. наук;  
Н.А. Свидуневич, проф., д-р техн. наук; А.С. Раковец, ассист.;  
А.С. Кравченко, инж., канд. техн. наук;  
Исаков В.А., студ. (БГТУ, г. Минск);  
И.Н. Степанкин, доц., канд. техн. наук; Е.П. Поздняков, ст. преп.;  
(ГГТУ им. П.О. Сухого)

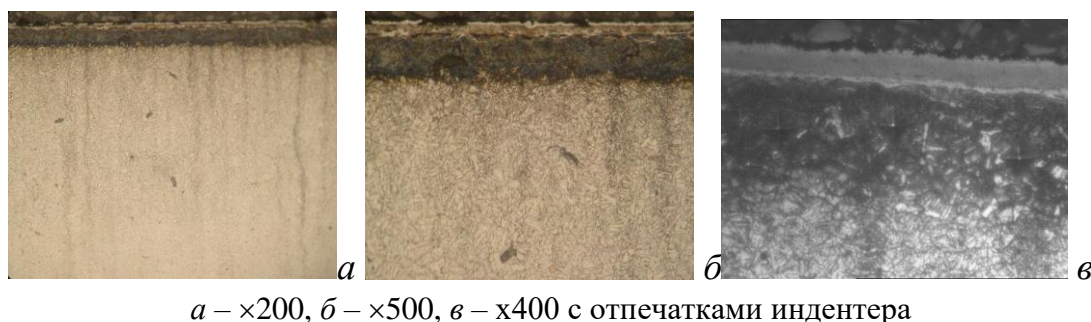
### **ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ТЕРМОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И СВОЙСТВА ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ 6Х4М2ФС**

Циклические контактные нагрузки, действующие на рабочие поверхности инструментов, деталей машин и механизмов, к которым относятся зубчатые колеса, подшипники качения, рельсы и рельсовые колеса, прокатные валки, толкатели кулачков, бойки, элементы червячных, гипоидных, винтовых, цепных и глобоидальных передач, направляющие, шлицевые соединения с телами качения, обгонные роликовые муфты и т.д., - являются причиной потери их работоспособности. Среди возможных путей повышения контактной выносливости таких изделий большое внимание отводится упрочняющим технологиям, созданию необходимой структуры поверхностного слоя. Многочисленными исследованиями доказана высокая эффективность применения для снижения сопротивления контактному выкрашиванию гетерогенно упрочненной структуры поверхностного слоя, создаваемой поверхностной термической обработкой или химико-термической обработкой. Вместе с тем для упрочнения деталей машин широко используется упрочнение поверхностно-пластической деформацией, которое обладает рядом достоинств по сравнению с другими способами упрочнения: низкая энергоёмкость, плавность перехода упрочненного поверхностного слоя к неупрочненному металлу и др.

Таким образом, установление взаимосвязи между параметрами обработки, получаемой в результате градиентной структурой и сопротивлением контактному изнашиванию, является актуальной задачей.

С целью определения влияния режимов термохимической обработки на структурообразование, фазовый состав и свойства поверхностных слоев стали 6Х4М2ФС были получены (науглероживание (920°C, 8 часов) с последующей закалкой (1060°C) и отпуском (525°C), закалка (1060°C) и отпуск (525°C) с последующим азотированием

(525°C, 8 часов), закалка (1060°C) и отпуск (525°C) с последующей нитроцементацией (560°C, 17 часов) и исследованы образцы этой стали. Определено, что морфология модифицированных поверхностных слоев изучаемых сплавов, вследствие развитой системы границ между кристаллитами, является структурой сложного фазового состава (карбида, нитриды, карбонитриды,  $\alpha$ - и  $\gamma$ -твердые растворы), микротвердость снижается от поверхности (до ~ 11 ГПа в зависимости от обработки) к основе (6,5-7,0 ГПа).



*a* –  $\times 200$ , *b* –  $\times 500$ , *v* –  $\times 400$  с отпечатками индентера

**Рисунок 1 – Микроструктура в СМ образца стали 6Х4М2ФС (закалка (1060 °С) и отпуск (525 °С) с последующей нитроцементацией (560 °С, 17 часов))**

Полученные данные в совокупности с результатами исследований механизма разрушения этих сталей позволяют определить структурные особенности и режимы формирования модифицированных слоев, обеспечивающие получение заданного соотношения стабильной (мартенсит) и метастабильной (аустенит) фаз твердого раствора, изменяющего процессы трещинообразования в поверхностном слое материала.

Полученные зависимости контактного изнашивания и их взаимосвязь с режимами структурообразования поверхностного слоя, являются научной базой для разработки технологических рекомендаций по упрочнению инструмента для обработки давлением в металлургическом производстве на таких предприятиях как ОАО «БМЗ управляющая компания БМК», ОАО «Гомсельмаш» и др.

М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;  
С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;  
А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук;  
Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;  
А.Д. Скворцов студ. (БГТУ, г. Минск)

### **ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ИЗНАШИВАНИЯ БОРСОДЕРЖАЩИХ СЛОЕВ УПРОЧНЕННЫХ ДЕТАЛЕЙ ТРАНСМИССИЙ ЛЕСНЫХ МАШИН**

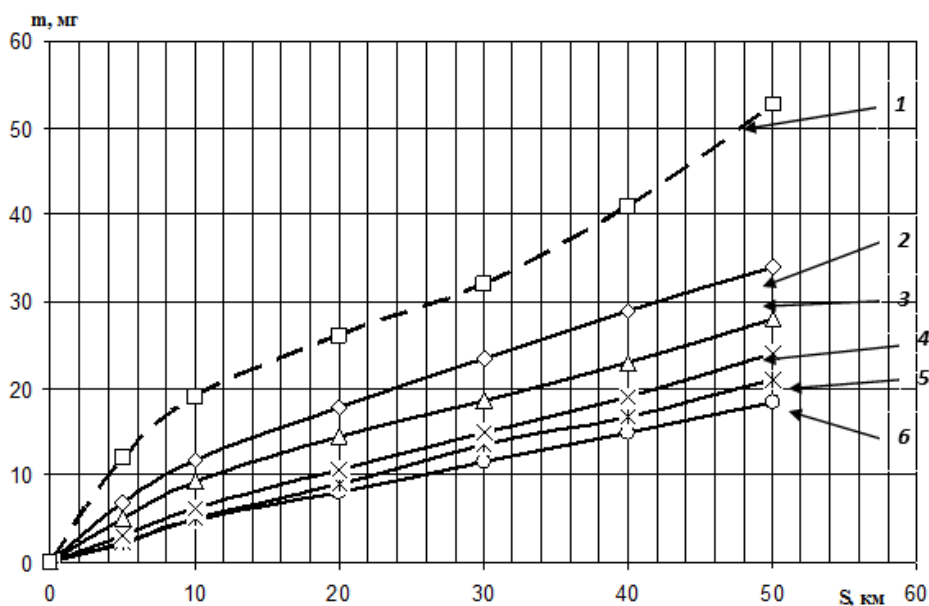
В работе приведены результаты исследований кинетики изнашивания образцов из материалов наиболее часто используемых для изготовления различных деталей трансмиссии лесных машин, подверженных различным методам поверхностного упрочнения.

Исследования образцов проводились в режиме полусухого трения с минимальным добавлением индустриального масла 20 для исключения явления задира. Испытывались образцы из конструкционных сталей 25ХГТ, 40Х и 45 прошедших улучшение с последующим поверхностным упрочнением методами борирования и боросилицирования по различным схемам. Для сравнения испытывались образцы из стали 25ХГТ, цементированные по заводской технологии и сталей 40Х и 45 из конструкционных сталей 25ХГТ, 40Х и 45, прошедшие предварительно улучшение и закалку ТВЧ. Температура борирования составляла 950°С, время – 2–4 часа. Боросилицирование осуществлялось при температуре насыщения 950°С, времени насыщения 2–4 часа.

При проведении исследований шероховатость контртела, выполненного из инструментальной быстрорежущей стали Р6М5 с твердостью НРС 64–66, поддерживалась постоянной в пределах Ra 1,25 в результате перешлифовки на заданную шероховатость. Для создания условий, способствующих более интенсивному износу, неровности выполнялись в направлении перпендикулярном движению образца.

Сравнительная оценка износостойкости упрочненных методами борирования, боросилицирования и цементированных по заводской технологии поверхностных слоев полученных на образцах из различных сталей проводилась по потере массы при пути трения между измерениями 10 км. Следует отметить, что полученные кривые износа (рис.1) в целом соответствуют общепринятым представлениям и зависимостям характерным для эксплуатации деталей, работающих в условиях интенсивного нагружения.

Для кривой износа, полученной при упрочнении методом цементации (традиционная технология при изготовлении зубчатых колес трансмиссии) 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.



1 – цементация; 2 – боросилицирование 2 ч; 3–3,5 ч; 4–4 ч;  
5 – борирование 3 ч; 6–4 ч

**Рисунок 1 – Изменение величины изнашивания образцов из стали 25ХГТ от пути трения при разных составах сред и времени насыщения (нагрузка 1,155 МПа)**

В отличие от цементации, при упрочнении образцов боросилицированием интенсивность изнашивания на всем протяжении пути трения остается практически постоянной. При этом на некоторых участках пути трения наблюдается ее уменьшение, что вероятно связано со стабильностью поверхностной твердости и остаточных напряжений сжатия. Характер кривых изменения величины изнашивания исследованных образцов из конструкционных сталей 40Х и 45 аналогичен приведенным на рис. 1 для стали 25ХГТ при более высокой количественной оценке интенсивности износа.

Ф.Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;  
С. Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;  
М. Н. Пищов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск);  
Adel Abdel Basset Rashid (Beirut Arab University, Lebanon, Tyre)

### **ИЗМЕНЕНИЕ УСТАЛОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ВТОРИЧНЫХ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ПРИ ПОВЕРХНОСТНОМ УПРОЧНЕНИИ**

Влияние химсостава на служебные свойства неизбежно присутствующих различного рода примесей во вторичных алюминиевых сплавах препятствует их использованию в качестве заменителей первичных. Существенный экономический эффект при решении данной проблемы вынуждает проводить исследования в данном направлении.

Объектом исследований являлись плоские балочные образцы толщиной 2,0 мм из алюминиевых сплавов типа АК8МЗ с содержанием железа в пределах 0,4-1,45%. Для партии образцов была оплавлена поверхность лазерным излучением на глубину 0,2 мм с обеих сторон.

Нагружение материалов по второй собственной форме колебаний осуществлялось на специально разработанной исследовательской установке, работавшей с резонансной частотой колебаний 18 кГц [1].

Результаты исследований показывают, что содержание легирующих материалов наиболее существенно сказывается на поведении пределов усталости данных литейных сплавов. Так, железо немонотонно изменяет данную характеристику, причем как для сплава в исходном состоянии, так и после лазерной обработки. Величина предела усталости достигает максимума при содержании железа около 1%.

**Выводы.** В результате проведенных экспериментов установлен характер влияния величины процентного содержания железа, кремния и меди в исследуемых вторичных литейных сплавах. Используемые в данной работе установки и методы исследований могут быть рекомендованы для оптимизации уровня усталостных характеристик конструкционных материалов.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

1. Tsaruck, F. Method of the accelerated prediction of fatigue properties of metals at normal and heightened temperatures by results of high-frequency tests, Proceedings of III international symposium on tribo-fatigue ISTF 2000 / F. Tsaruck, A. Novitskiy – China; 2000. Hunan University Press,. – P. 193 – 195.

Ф. Ф. Царук, доц., канд. техн. наук;  
С. Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;  
А. И. Сурус, доц., канд. техн. наук;  
М. Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;  
А. Д. Скворцов, студ. (БГТУ, г. Минск)

## ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК УСТАЛОСТНОГО РАЗРУШЕНИЯ ГРАФИТИЗИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ

Одним из важнейших свойств графитизированных сталей является сопротивление усталостному разрушению под действием циклических нагрузок в случае работы при динамических нагрузках.

Объектом исследований являлись плоские балочные образцы толщиной 2,0 мм с различным содержанием углерода, кремния и меди. Нагружение материалов по второй собственной форме колебаний производилось на специально разработанной исследовательской установке, работавшей с резонансной частотой колебаний 18 кГц [1].

Результаты исследований показали, что содержание легирующих материалов наиболее существенно сказывается на поведении пределов усталости графитизированных сталей. Так, углерод и медь в данных сталях монотонно снижают усталостные свойства, в то время как кремний выступает в роли антагониста данных элементов и способствует росту высокочастотной циклической прочности образцов.

Проведенные фрактографические исследования усталостных изломов позволили установить отсутствие значимых изменений в характере картины распространения усталостной трещины для исследованного диапазона легирующих элементов.

**Выводы.** Экспериментально установлен характер влияния величины процентного содержания углерода, кремния и меди в исследуемых сталях. Используемые в данной работе установки и методы исследований могут быть рекомендованы для эффективного процесса оптимизации уровня усталостных характеристик конструкционных материалов.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Tsaruck, F. Method of the accelerated prediction of fatigue properties of metals at normal and heightened temperatures by results of high-frequency tests, Proceedings of III international symposium on tribo-fatigue ISTF 2000 / F. Tsaruck, A. Novitskiy – China; 2000. Hunan University Press,. – P. 193 – 195.



С.Е. Бельский, доц., канд. техн. наук;  
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук;  
А.В. Вергейчик, студ.; К.В. Пивоварчик, студ. (БГТУ, г. Минск)

## **ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ОБРАЗЦОВ ПРИ ИСПЫТАНИИ НА ИЗНОС ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ**

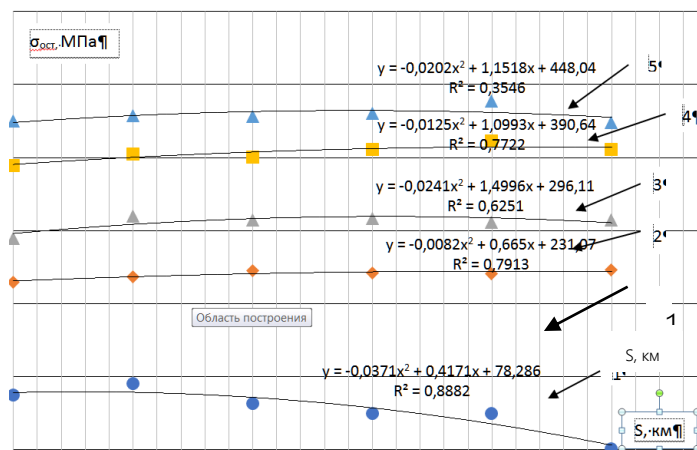
Для определения эксплуатационных характеристик упрочненных слоев в разработанных насыщающих составах [1] и оптимизации температурно-временных параметров процесса упрочнения исследована кинетика изнашивания, а также напряженное состояние экспериментальных образцов после проведения различной ХТО. Необходимо отметить, что диффузионные слои характеризуются неоднородностью структуры и химического состава, наличием дефектов в виде пор, микротрещин, а также значительными колебаниями по толщине и твердости.

Исследования износостойкости упрочненных различными составами экспериментальных образцов проводились в лабораторных условиях. Установка для проведения ускоренных испытаний по сопротивлению изнашиванию экспериментальных образцов частично моделирует реальные условия работы инструментальной оснастки.

На основании исследований проведенных на рентгеновском дифрактометре Bruker 08 Advance было установлено, что в поверхностном слое упрочненных борированием и боросилицированием образцов стали 5ХНМ преобладают напряжения сжатия. Данные остаточные напряжения являются термическими и зависят от применяемых марок сталей и способа их упрочнения. В ходе проведения испытаний на износостойкость упрочненных борированием и боросилицированием образцов было установлено, что возрастание плотности и однородности упрочненного слоя, во многом зависящее от величины остаточных напряжений сжатия, существенно снижает скорость изнашивания. В связи с этим целесообразным является исследование характера изменения остаточных напряжений сжатия в упрочненном слое после проведения испытаний на износостойкость.

Исследование распределения остаточных напряжений сжатия в поверхностных слоях при проведении испытаний на износ осуществлялось на пути трения до 50 км. Упрочненные по различной технологии образцы после прохождения пути трения, извлекались из установки и исследовались на остаточные напряжения сжатия в поверхностных

слоях. Как видно из рисунка 1 с увеличением пути трения уровень остаточных напряжений сжатия упрочненными борированием и боросилицированием образцов остается практически неизменным, отмечается их незначительное понижение только на заключительном этапе испытаний (50 км).



1 – цементация; боросилицирование 2 – 1,5 ч, 3 – 3 ч, борирование 4 – 3 ч, 5 – 4 ч

**Рисунок 1 – Изменение уровня остаточных напряжений сжатия в зависимости от пути трения упрочненных образцов стали 5ХНМ**

Для образцов, упрочненных цементацией на протяжении всего пути трения характерна неравномерность в распределении остаточных напряжений сжатия в поверхностных слоях. При этом на заключительном этапе испытаний, которому соответствует путь трения 40–50 км, наблюдается резкое их уменьшение в поверхностном слое. Уменьшение остаточных напряжений сжатия приводит к увеличению скорости изнашивания и последующему катастрофическому разрушению всего поверхностного слоя образцов. При этом, как показали проведенные исследования, уменьшение остаточных напряжений сжатия при цементации происходит как на самой контактной поверхности трения, так и на глубине 50–180 мкм, что приводит к разупрочнению всего поверхностного слоя.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Пищов М.Н. Методика упрочнения тяжело нагруженных деталей трансмиссии трелевочных тракторов /М.Н. Пищов, С.Е. Бельский, А.И. Сурус // Труды БГТУ. Сер.П, Лесная и деревообраб. промышленность. – 2008. – Вып. XVI. – С. 283-287.

УДК 624.041

А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук; А.М. Лось, ассист.;  
А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук; С.В. Ярмолик, ст. преп.  
(БГТУ, г. Минск)

## **ИСПОЛЬЗОВАНИЕ САД-СИСТЕМ ДЛЯ АНАЛИЗА МЕТАЛЛОЕМКОСТИ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИИ ЛЕСОВОЗНОГО ТРАНСПОРТА**

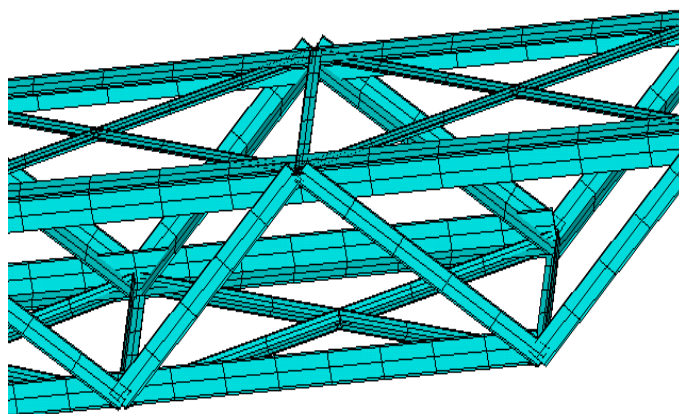
Сегодня большинство подъемно-транспортных машин, состоят из различных механизмов и систем управления, монтируемых на несущих металлических конструкциях. Не является исключением и транспорт, задействованный в транспортных операциях при проведении лесозаготовительных работ.

Надёжность и безопасность эксплуатации такого оборудования зависит от качества исполнения их металлических конструкций. к ним предъявляются определённые требования: прочность, общая устойчивость конструкции и местная устойчивость отдельных её элементов; статическая и динамическая жёсткость; выносливость и, вместе с тем, минимально возможная масса, высокая технологичность изготовления и монтажа. Для снижения конечной себестоимости такого оборудования, большинство этих требований необходимо обеспечить на стадии предварительного (проектного) расчёта и компонования при проектировании.

Авторами работы, предложено произвести оценку металлоемкости проектируемой конструкции несущей фермы сортиментовоза [1-3], одной из особенностей которой, является преимущественное использование сварных соединений.

Для этого с помощью САД системы была создана трехмерная модель несущей рамы и ее конечно-элементная модель (рисунок 1). На основе моделирования действия внешних статических и динамических сил были выявлены наиболее нагруженные элементы предложенной конструкции.

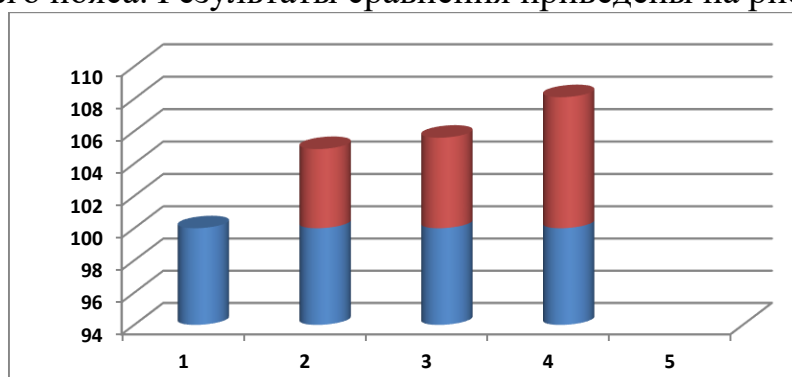
С целью снижения действующих напряжений в материале стержней и в сварных швах наиболее нагруженных узлов было предложено несколько альтернативных вариантов реализации соединений: в первом варианте конструкции – усилить их с помощью косынок и дополнительных раскосов; во втором и третьем вариантах – заменить сварные соединения на болтовые и заклепочные соответственно.



**Рисунок 1 – Фрагмент конечно-элементной модели проектируемой конструкции (основной профиль – уголок)**

Размеры и расположение дополнительных крепежных деталей (косынок, накладок, заклепок, болтов и т. п.) определялись на основе расчетов методом конечных элементов. Далее, с использованием встроенных в САД-систему математических процессоров, находилась масса для всех трех вариантов разгрузки узлов нижнего пояса пространственной рамы проектируемого сортиментовоза.

Относительная металлоемкость, проектируемой конструкции определялась как отношение массы конструкции с различными вариантами усиления наиболее нагруженных узлов к массе базового варианта. За базовый вариант принималась масса несущей рамы без усиления узлов нижнего пояса. Результаты сравнения приведены на рисунке 2.



1 – базовый вариант (без усиления); 2 – болтовые соединения;  
3 – сварные соединения, 4 – заклепочные соединения.

**Рисунок 2 – Оценка относительной металлоемкости проектируемой конструкции при различных методах усиления узлов нижнего пояса**

Из гистограммы (рисунок 2) очевидно, что наибольшая масса конструкции будет при использовании заклепочных соединений. Использование сварных и болтовых соединений позволяет получить конструкции

сопоставимой массы, при этом, замена сварных соединений узлов нижнего пояса, усиленных дополнительными косынками, на болтовые не дает существенного снижения металлоемкости конструкции, однако технологичность изготовления таких соединений существенно ниже по сравнению со сварными. Таким образом, на стадии проектирования установлено, что с точки зрения металлоемкости и технологичности изготовления проектируемого объекта предпочтительней использование сварных соединений для усиления узлов нижнего пояса.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Повышение эффективности проектирования оснастки лесовозного транспорта / А. М. Лось [и др.] // Актуальные проблемы лесного комплекса : сборник научных трудов / под общ. ред. Е. А. Памфилова. Вып. 46, – Брянск, – 2016. – С. 142-144.

2. Лось, А. М. Повышение надежности и долговечности сварных соединений элементов несущей рамы проектируемого сортиментовоза / А. М. Лось // Труды БГТУ. – 2007. – Сер. II Лесная и деревообработ. Пром-сть. – С. 271–274.

3. Лось, А. М. Расчет параметров кониковых устройств проектируемого сортиментовоза / А. М. Лось, А. В. Блохин // Труды БГТУ. – 2013. – № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. – С. 61–62.

УДК 630.36

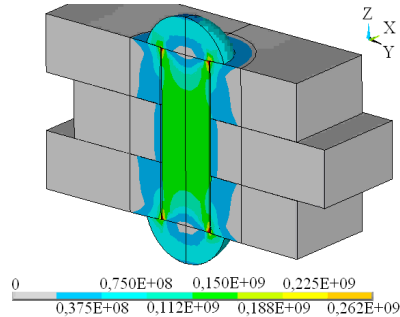
А.М. Лось, ассист.; А.В. Блохин, доц., канд. техн. наук;  
А.И. Сурус, доц., канд. техн. наук;  
М.Н. Пищов, доц., канд. техн. наук (БГТУ, г. Минск)

#### **ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМ КЭ АНАЛИЗА ДЛЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕННЫХ ЗАКЛЕПОЧНЫХ СОЕДИНЕНИЙ, НАГРУЖЕННЫХ ПОПЕРЕЧНОЙ СИЛОЙ**

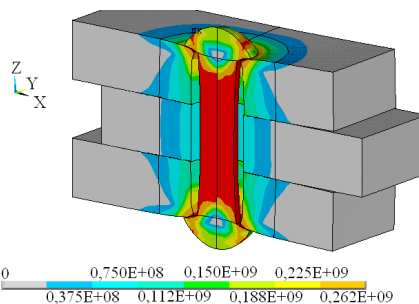
Исследования, выполняемые с использованием систем конечно-элементного анализа, применяются для получения оптимальных геометрических параметров проектируемых конструкций. При этом сохраняются как полное функциональное назначение проектируемого объекта при небольших материальных затратах и высокой надежности, так и оптимальные затраты времени на прочностные и другие расчеты.

Заклепочные соединения относятся к неразъемным и, в большинстве случаев, применяются для соединения листов и фасонных прокатных профилей, работающих при значительных вибрационных нагрузках. Соединение образуется расклепыванием стержня заклепки, вставляемой в отверстие деталей.

Проектирование и исследования напряженно-деформированного состояния выполнялись нами на примере двухсрезного предварительно напряженного заклепочного соединения. Модель заклепочного соединения до приложения растягивающих напряжений в заклепке представлена на рисунке 1, модель соединения с напряженной заклепкой – на рисунке 2.

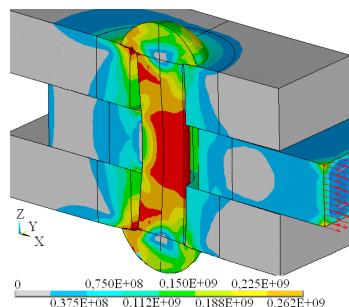


**Рисунок 1 – Заклепочное соединение до момента возникновения дополнительных напряжений в заклепке**



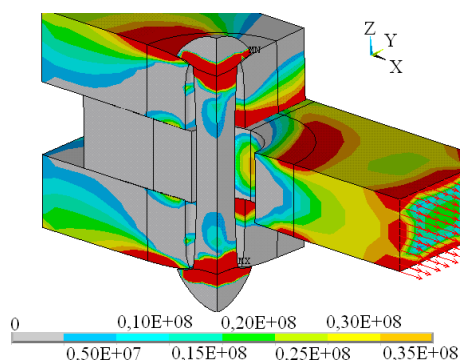
**Рисунок 2 – Заклепочное соединение с напряженной заклепкой**

На рисунке 3 показаны эквивалентные напряжения в напряженном заклепочном соединении при приложении к пластинам продольной нагрузки 85 кН. Заклепка в данном соединении имеет диаметр 10 мм. Максимальные напряжения здесь достигают  $\sigma_{\max} = 340 \text{ Н/мм}^2$ . Напряжения в пластинах здесь невелики и достигают значений 37,5–75  $\text{Н/мм}^2$ .



**Рисунок 3 – Напряженно-деформированное состояние соединения при приложении к пластинам сдвигающей силы 85 кН**

Продольные растягивающие (сжимающие) напряжения в пластинах исследуемого соединения при приложении к ним нагрузки, достигающей значения 100 кН, отражены на эпюре, представленной на рисунке 4.



**Рисунок 4 – Напряженно-деформированное состояние соединения при приложении к пластинам сдвигающей силы 100 кН**

Таким образом, системы конечно-элементного анализа позволяют проводить исследования нагруженности элементов заклепочных соединений нагруженных поперечными силами как статического, так и динамического (вибрационного) характера при разных температурах, давлении и т.п. При этом, важно правильно задать свойства материала изготовления и условия его нагружения, что гарантирует получение высокой точности расчетов и сходимости их с натурными исследованиями. Любые исследования, выполненные системами конечно-элементного анализа, реализованными на платформах высокопроизводительной компьютерной техники позволяют значительно снизить стоимость и сроки проектирования соединений.

УДК 669.162

А. В. Нестерчук, доц., канд. экон. наук;  
З. М. Евлоев, магистрант 3 курса группы П-СТР-м-з-181;  
Е. А. Кейбалова, студентка 4 курса группы П-СРВ-б-о-172  
(ИСТиД (филиал) СКФУ, г. Пятигорск);  
М. С. Козлова, студентка 4 курса группы 7541,  
(НовГУ имени Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород)

## **ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО С УЧЕТОМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ**

Строительству экологичных и энергоэффективных домов способствуют несколько факторов. Во-первых, это сами люди, которые активными темпами переходят на разумное потребление и стараются снизить использование любого вида энергии при эксплуатации и строительстве, а также возводить здания из экологически чистых материалов. Данная тенденция набирает всё большую популярность, и в скором времени применение энергозатратных и экологически опасных веществ станет неактуальным.

Второй фактор популяризации экологичного строительства – это государство. Оно также стимулирует население для использования натуральных и энергетически эффективных материалов при строительстве [4]. Первый нормативный документ, который включает в себя экологические стандарты строительства – это ГОСТ Р 54964-2012 «Оценка соответствия. Экологические требования к объектам недвижимости». Данный стандарт устанавливает экологические требования к зданиям и сооружениям на этапах проектирования, строительства и эксплуатации и реконструкции [2].

Экологичное и энергоэффективное строительство зданий и сооружений подразумевает, что с самого начала проектирования, при выборе строительных материалов, строительстве, эксплуатации и до момента сноса здания будут соблюдены все нормы и правила, имеющие положительное воздействие на окружающую среду и человека.

При строительстве и эксплуатации зданий включаются следующие требования:

- сокращение выделения тепловых выбросов и углекислого газа в окружающую среду;
- использование биоразлагаемых и возобновляемых материалов для возведения зданий;
- использование энерговозобновляемых источников и экономичное потребление энергии;



- применение легко утилизируемых материалов для их повторного использования;
- создание благоприятного микроклимата для работы людей.

При строительстве зданий и сооружений используются различные технологии, чтобы обеспечить вышеперечисленные требования. Одна из самых действенных – применение объёмно-планировочных решений в виде изменения формы домов с прямоугольной на купольную, поскольку при такой форме потери тепла снизятся минимум на 20% [1]. Также огромную роль играет выбор и использование ландшафтного участка с анализом природно-климатических норм.

Также стоит добавить, что наибольшие потери тепловой энергии в домах случаются в виде утечек. Они могут возникать при применении устаревших технологий или материалов. Для увеличения энергоэффективности применяют новые технологии, например - теплоизоляционный материал Камка, который при повышенном уровне влажности впитывает влагу, а при сухости в помещении отдаёт, тем самым поддерживая благоприятный для человека микроклимат. Более того, он является экологически чистым, поскольку сделан из водорослей. Также данный материал оказывает лечебный эффект за счёт содержания в нём йода и цинка. Камка не гниёт, не горит и не плавится при температуре ниже 1000 градусов, сохраняет свои эксплуатационные свойства в течение всего срока использования [2].

Также одним из экологичных материалов для строительства является глиняный или силикатный кирпич. Он делается из глины, известняка и песка, считается одним из самых надёжных и безопасных материалов при возведении зданий. Материал отлично держит тепло, при строительстве не создаёт больших затрат.

При возведении крыши наиболее экологичным материалом является битумная кровля. Материал делается цельным листом и подлежит вторичной переработке, а срок службы такой крыши составляет около 60 лет.

Анализируя вышеперечисленные экологичные материалы, можно заметить, что они также позволяют сохранить энергоэффективность при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений. При использовании указанных материалов потери тепла будут минимальны, а срок службы здания увеличится за счёт применения силикатного кирпича и битумной кровли [5].

Основным принципом строительства энергоэффективного дома является достижение максимальной герметичности жилища, использование энергосберегающих технологий и ликвидация мостиков холода [5].

Энергоэффективный дом – это здание, в котором сведены к минимуму все энергопотери, а также энергопотребление. Основным принципом строительства энергоэффективного дома является достижение максимальной герметичности жилища, использование энергосберегающих технологий и ликвидация мостиков холода.

В России основные энергозатраты приходятся на отопление, поэтому главной задачей становится предотвращение потерь тепла через ограждающие конструкции дома – пол, стены, окна, перекрытия и крышу. Этого можно добиться с помощью современных технологий каркасного строительства. За счет применения утеплителей и специальных способов обшивки каркаса полностью исключается наличие щелей [5].

Таким образом, можно сделать вывод – строительство зданий с учетом требований экологичности и энергоэффективности стремительно набирает обороты в современном мире. Более того, экологичные материалы ничуть не уступают в качестве привычным стройматериалам, и потому прекрасно выполняют функции энергоэффективности.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Сычев А.С. «Эко-технологии строительства с учётом критериев энергоэффективного зданий» - Science Time, 2016 г.
2. Александров В.Д. – «Энергоэффективное строительство», изд. Просвещение, 2017.
3. Филоненко П.П. – «Экологичная теплоизоляция», LAP Lambert Academic Publishing, 2013. - 168 с.
4. Середкин, Евгений Стимулирование повышения энергоэффективности: моногр. - М.: LAP Lambert Academic Publishing, 2018. - 203 с.
5. Темирханова, Гульжан Способы повышения энергоэффективности в коммунальном теплоснабжении / Гульжан Темирханова. - Москва: Наука, 2018. - 662 с.

УДК 332.872

А. В. Нестерчук канд. экон. наук, доц., доц.;  
З. М. Евлоев магистр 3 курса группы П-СТР-м-з-181;  
М. А. Титова студентка 4 курса группы П-СРВ-б-о-172  
(ИСТиД (филиал) СКФУ, г. Пятигорск);  
М. С. Козлова студентка 4 курса группы 7541  
(НовГУ имени Ярослава Мудрого, г. Великий Новгород)

## **ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ КАК ВАЖНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ОБСЛУЖИВАНИЯ ОБЪЕКТОВ НЕДВИЖИМОСТИ**

Энергоэффективность жилых зданий в настоящее время является предметом всеобщего внимания и обсуждения. Истинное содержание данного определения состоит в сочетании многообразия мер экономического и организационного характера, нацеленных на усовершенствование ценности разумного применения источников энергии, в области быта и современной индустрии производства. Иными словами энергоэффективность – это высокорентабельное применение энергии, из чего следует снижение коммунальных трат и издержек [1]. В противоположность выступает термин энергосбережение, который представляет собой расходование энергетических источников в несущественных коэффициентах или же отклонение в их применении, в некоторых случаях.

На сегодняшний момент энергосбережение – это одна из наиболее значимых поставленных целей нашей страны, так как имеет взаимосвязь с недостатком источников энергии, их достаточно затратным получением из недр, и конечно проблемы, связанные с экологией на всем земном шаре.

Данные проведенных научных исследований, предназначение которых заключается в анализировании «подводных камней» энергосбережения, показывают, что объем энергии уходит на обеспечение отопления, горячего водоснабжения, искусственного освещения, остывание воздуха до низкой температуры в системах кондиционирования и восполнение расходов в полном объеме при передаче энергетических ресурсов, непосредственно, к объектам потребления.

В Российской Федерации, строительство строений с нуля, осуществляется с постоянными условиями, касательно обеспечения тепла в стенах строения, путем использования 3-х стекольных окон, термостатов на аппаратах отопления, обеспечения строений непроизвольной подачей тепла в системы отопления зданий, а также агрегатами фиксирования воды и тепла [2]. Всё это подкреплено законом и берет своё начало с 1995 года.

В застройке новых зданий, определены тенденции стабильного развития энергосбережения:

1. Проверка и укрепление теплозащиты строений;
2. Необходимый прирост оперативности непроизвольного контроля за осуществлением «доставки» тепла в отопительные системы здания;
3. Понижение потребления тепла, для подогревания воздуха до соответствующей температуры в помещениях различного назначения, который является необходимым для вентиляции жилища;

Снижение издержек по использованию воды и тепла, которые нужны для обеспечения горячего водоснабжения непосредственно к объектам нужд;

Благодаря выбору наиболее оптимального и продуктивного утеплителя для конструкций, а также использование знаний, приобретенных в области научно-технической сферы по поводу улучшения теплотехнической однородности конструкции в силу сокращения воздействия теплопроводных подключений – возможно достижение улучшения противодействия теплопередаче ограждений, не прозрачных на свет.

Стеновые единицы зданий или сооружений, находящиеся со стороны улицы, создаются несколькими слоями теплоизоляционного и несущего характера, и предназначаются именно для гарантирования важных показателей, устанавливающих норму и стандарты.

Способ утепления фасадных стеновых конструкций, с позиции уличной развязки, позволяет получить наивысший уровень защиты постройки от охлаждения конструкции, вследствие воздействия холода на постройку.

Из-за таких конструктивных элементов как двери и окна, которые лишены герметичности, возникают значительные потери тепла, достигающие свыше 30 %, через строительные конструкции строения. Важно обеспечивать непрерывный рост теплоизоляционных свойств оконных конструкций и предусматривать это в данных условиях.

В Российской Федерации, на данный момент, достаточно распространено использование нескольких средств улучшения энергоэффективности конструкций, которые прозрачны на свету:

1. Обширное использование термопленки;
2. Замена одно- и двухкамерных стеклопакетов, на использование трех- и более камерных;
3. Закачивание инертных газов в стеклопакет, для дальнейшего использования;

Непрерывный контроль, над устройствами отопления строений достаточно обширно применяется, с целью обеспечения максимально комфортной среды пребывания потребителей, для приобретения

наибольшей энергоэффективности. Это программа наилучшего использования подачи тепла в структуру отопления, из теплового потока в персональный тепловой пункт (ИТП) или в АУУ (автоматический узел управления) [3, с.61]. Управление посредством автоматики прагматизирует подачу тепла на отопление и способствует достаточно существенной экономии тепловых ресурсов, улучшая качество жизни.

Цель энергоэффективной вентиляционной структуры содержится в гарантировании максимально комфортных условий посредством тепла, для пребывания людей в помещениях, в хорошо герметичном здании, и конечно сведение к минимуму издержек и трат теплоты для нагрева микроклимата.

Основная масса строений использует структуру вентиляции с обычным круговоротом воздушного пространства, и функционирование происходит с помощью естественной тяги, которая появляется из-за разного давления и температурного режима.

Зимой, данная структура умножает затраты на нагревание жилища, тем самым не соответствуя современным условиям энергосбережения. Приточно-вытяжная вентиляционная структура с рекуперацией воздуха – актуальное и своевременное использование в помещениях.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Федеральный закон от 23.11.2009 № 261-ФЗ (ред. от 29.07.2017) «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»//Собрание законодательства РФ, 30.11.2009, № 48, ст. 5711.

2. Постановление Правительства РФ от 31.12.2009 № 1222 (ред. от 30.12.2011) «О видах и характеристиках товаров, информация о классе энергетической эффективности которых должна содержаться в технической документации, прилагаемой к этим товарам, в их маркировке, на их этикетках, и принципах правил определения производителями, импортерами класса энергетической эффективности товара»//Собрание законодательства РФ, 01.02.2010, № 5, ст. 526.

Алоян Р.М., Федосов С.В., Опарина Л.А. Энергоэффективные здания – состояние, проблемы и пути решения – Иваново: ПресСто, 2016. – 276 с.

Научное издание

# **ЛЕСНАЯ ИНЖЕНЕРИЯ, МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ И ДИЗАЙН**

**Материалы докладов 85-ой научно-технической  
конференции профессорско-преподавательского  
состава, научных сотрудников и аспирантов  
(с международным участием)  
Электронный ресурс**

В авторской редакции

Компьютерная верстка:

*М.Т. Насковец, И.Г. Федосенко, А.С. Раповец, Е.О. Черник*

Усл. печ. л. 12,50. Уч.-изд. л. 12,90.

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.